

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del consejo particular y aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

INGENIERO AGRONOMO EN:

IRRIGACION

CONSEJO PARTICULAR:

ASESOR: M.C. VICTOR MANUEL BURQUEZ LEANO

CONSEJERO: ING MARCO ANTONIO HUEZ LOPEZ

CONSEJERO: M.C. FRANCISCO MOJARRO DAVILA

# Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR), por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo de tesis.

Al Ing. Enrique Santamaría César, investigador del Departamento de Manejo de Recursos Hidráulicos del CENAMAR, por su asesoramiento en el aspecto estadístico.

Al personal del Departamento de Divulgación del CENAMAR, por su colaboración en los trabajos de dibujo e impresión.

A la Srta. Raquel Anguiano Gallegos, por su paciencia y dedicación en la realización de los trabajos de mecanografía.

DEDICATORIA

A mis Padres

*Irma y Juan con amor y respeto.*

A mis Hermanos:

*Juan, Eleazar, Irma Aidé, José Luis, Víctor Manuel,  
Jesús Alberto, Graciela Isabel y Carlos Francisco,  
con cariño.*

A mis Amigos.

## CONTENIDO

	<i>Página</i>
INTRODUCCION . . . . .	1
LITERATURA REVISADA . . . . .	4
Revisión de aspectos estadístico-matemáticos . .	4
Revisión de aspectos matemático-económicos . . .	7
Revisión de aspectos sobre relaciones agua-suelo- planta-atmósfera . . . . .	10
Revisión acerca del cultivo del frijol . . . . .	15
MATERIALES Y METODOS	18
Localización del sitio experimental . . . . .	18
Clima del lugar . . . . .	18
Datos climatológicos registrados durante el desa- rrollo del experimento . . . . .	19
Características generales del suelo . . . . .	19
Características del agua . . . . .	21
Diseño estadístico . . . . .	22
Labores agronómicas . . . . .	31
Muestreo gravimétrico . . . . .	33
RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	36
Influencia del régimen de humedad sobre la dura- ción del ciclo vegetativo del cultivo . . . . .	36
Datos climatológicos registrados . . . . .	38
Variables independientes . . . . .	38
Variables dependientes o variables respuesta . .	38
Secuencia de análisis . . . . .	38
Análisis económico 1981-1983 de los tratamientos 2-3, 2-4 y el testigo . . . . .	53

	<u>Página</u>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	55
BIBLIOGRAFIA . . . . .	57

## INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro</u>	<u>Página</u>
1 Superficie destinada al cultivo del frijol y su producción en la Región Lagunera . . . . .	2
2 Datos climatológicos registrados durante el experimento . . . . .	19
3 Ecuaciones de las curvas de tensión de humedad del suelo . . . . .	21
4 Tratamientos probados	23
5 Programación de los riegos en base a evaporación . . . . .	24
6 Duración en días del ciclo vegetativo total y por etapas en orden creciente . . . . .	37
7 Variables independientes calculadas por tratamiento . . . . .	39
8 Variable respuesta rendimiento en grano . . . . .	40
9 Variable respuesta ingreso neto . . . . .	41
10 Modelos cuadráticos seleccionados para la variable rendimiento en grano . . . . .	44
11 Modelos cuadráticos seleccionados para la variable ingreso neto . . . . .	45
12 Niveles óptimos de las principales variables independientes y su respuesta . . . . .	47
13 Niveles de energía comparativos para la primera etapa . . . . .	48
14 Niveles óptimos del régimen de humedad equivalentes. . . . .	48

15

Comparación de costos y utilidades en gravedad  
y bombeo. . . . .

54



## INDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Curva típica de tensión de humedad del suelo . . . . .	12
2	Aforo del sifón . . . . .	34
3	Control de la carga hidráulica . . . . .	34

## INDICE DEL APENDICE

### Cuadro

- 1 Características físicas del suelo
- 2 Características químicas del suelo
- 3 Características químicas del agua de riego
- 4 Costos de cultivo por hectárea y precio de garantía
- 5 Datos climatológicos registrados durante el ciclo vegetativo del cultivo
- 6 Análisis de varianza de bloques al azar para la variable rendimiento en grano
- 7 Análisis de varianza de bloques al azar para la variable ingreso neto

### Figura

- 1 Detalle de la parcela experimental
- 2 Distribución de los tratamientos en campo
- 3 Curva carga hidráulica-gasto para sifones de aluminio de 1 3/8" de diámetro
- 4 Superficie de respuesta de la función rendimiento en grano-régimen de humedad
- 5 Superficie de respuesta de la función ingreso neto-régimen de humedad

## RESUMEN

El frijol es un elemento básico en la dieta del pueblo mexicano. En la Región Lagunera es cultivado por 29 mil usuarios del sector ejidal en el Distrito de Riego N° 017. Su producción se destina principalmente al autoconsumo. Aparte de los riegos del algodón, principal cultivo en la Región, los usuarios reciben una dotación extra de agua para sembrar frijol en superficies de 1/4 a 1/2 hectárea.

Por la poca información existente en la Región respecto a las necesidades hídricas en cantidad y oportunidad del cultivo, se realizó el presente trabajo en el campo experimental del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR), durante el Verano de 1981.

El objetivo del estudio fue definir una función que relacionara la producción del frijol con el régimen de humedad del suelo en dos etapas fenológicas del cultivo. En base a dicha función, obtener un programa de riegos óptimo; las etapas fenológicas consideradas fueron de siembra a inicio de botones florales y de éste a la madurez fisiológica.

Los niveles de la variable régimen de humedad se definieron mediante la aplicación de diferente número de riegos igualmente espaciados en intervalos de evaporación registrada en tanque tipo A dentro del período correspondiente a cada etapa fenológica. Se ensayaron de 1 a 4 riegos en la primera y 1 a 6 en la segunda en un arreglo de tratamientos factorial incompleto.

Se utilizaron cuatro variables representativas del régimen

de humedad del suelo. Cada una de ellas se relacionó con el rendimiento y la utilidad neta mediante el criterio de regresión múltiple para obtener la variable de mayor ajuste al modelo cuadrático completo propuesto, resultando la variable energía con un grado de ajuste ligeramente mayor.

Maximizando las funciones energía Vs rendimiento y energía Vs ingreso neto, se determinaron los valores óptimos fisiológico y económico, correspondientes al mayor rendimiento e ingreso neto respectivamente. En base a esos valores se definió como mayor tratamiento la aplicación de dos riegos en la primera etapa y cuatro en la segunda.

En la segunda etapa se tuvo una mayor respuesta a la aplicación de los riegos, principalmente en el período de formación y llenado del grano.

## INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El cultivo del frijol tiene en México una gran importancia social y económica por ser un factor importante en la alimentación básica del pueblo.

En 1979 se cosecharon en el país un total de 988,286 ha, con las que se alcanzó una producción de 554,595 ton para una producción media de 0.561 ton/ha. Mientras tanto, las necesidades nacionales de consumo de ese año ascendían a 1'213,139 toneladas.

Durante 1980, la superficie cosechada aumentó a 1'763,347 hectáreas que arrojaron una producción total de 971,359 toneladas, con una producción media de 0.551 ton/ha. Sin embargo, durante este mismo año se importaron 443,066 ton con un valor de \$ 5,533'235,000.00

En 1981 la superficie aumentó a 2'150,164 ha, con una producción total de 1'469,021 ton.

En la Comarca Lagunera el frijol se cultiva bajo condiciones de riego por 29 mil usuarios del sector ejidal en el Distrito de Riego N° 017. Su producción se destina principalmente al autoconsumo. Aparte de los riegos del algodón, principal cultivo en la región, los usuarios reciben una dotación extra de agua para sembrar frijol en superficie de 1/4 a 1/2 hectárea, haciendo coincidir sus riegos con el calendario de riegos establecido para el algodón.

La problemática del cultivo a nivel regional surge debido a los siguientes factores: pequeñas superficies de siembra don

de la limitante es la cantidad de agua disponible en la presa, por lo que el riego es deficiente. Poco uso de semilla certificada y falta de labores necesarias para el desarrollo del cultivo.

El Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte (CIAN) ha desarrollado un programa de investigación enfocado a la obtención de variedades con características de grano aceptables y resistentes a las altas temperaturas que se registren en la región, así como otros aspectos de manejo del cultivo.

A pesar de que la tecnología generada por el CIAN ha sido adoptada parcialmente por los productores, la producción de frijol se ha incrementado en los últimos años, ya que de 433 kilogramos por ha obtenidos en 1966, para 1980 se ha superado esa producción en un 300 por ciento al alcanzarse un rendimiento de 1,730 kg/ha [13]. En el Cuadro 1 se presentan las superficies destinadas al cultivo del frijol en la región y su producción en los últimos cinco años. Esta ha tenido un mayor incremento en los últimos dos años como respuesta al impulso que se está dando a la producción de alimentos básicos.

CUADRO 1. SUPERFICIE DESTINADA AL CULTIVO DEL FRIJOL Y SU PRODUCCION EN LA REGION LAGUNERA.

CICLO AGRICOLA	TOTAL ha	PRODUCCION TOTAL (ton)	PRODUCCION MEDIA (ton/ha)
1976	6,115	8,012	1,310
1977	4,726	5,252	1,111
1978	6,629	6,675	1,007
1979	4,779	8,197	1,715
1980	6,008	10,421	1,730

Dadas las grandes limitaciones de insumos y el aumento en la demanda en todas las áreas, resulta importante desarrollar técnicas encaminadas a optimizar el aprovechamiento de los escasos recursos.

El objetivo del presente trabajo es determinar la relación entre la producción y el régimen de humedad del suelo (función de producción) en dos etapas fenológicas de este cultivo. En base a la optimización de dicha función, resolver el cuándo y cuánto regar el frijol mediante la obtención del programa de riegos óptimo para la región.

## LITERATURA REVISADA

Como quedó asentado por Moreno (17), la obtención de una función de producción requiere del conocimiento de aspectos concernientes a diferentes ciencias, por lo cual es conveniente dividir la Literatura Revisada en:

- Revisión de Aspectos Estadístico-Matemáticos.
- Revisión de Aspectos Matemático-Económicos.
- Revisión de Aspectos sobre Relaciones Agua-Suelo-planta-atmósfera.
- Revisión acerca del cultivo del frijol

## Revisión de Aspectos Estadístico-Matemáticos

La función de producción es una formulación o ecuación matemática que expresa la relación que hay entre los diferentes niveles de insumo o insumos empleados en la producción y los productos obtenidos.

De acuerdo con Palacios (19), la producción de los cultivos depende de muchos factores variables, algunos de los cuales son controlables, otros parcialmente controlables y otros no controlables. Para investigar el efecto de algunos de ellos, pueden mantenerse varios de los factores variables controlables como constantes y asumirse alguna constancia de los factores no controlables, o sea:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3 | X_4 \dots X_n)$$

Donde:

$Y$  = rendimiento o producción del cultivo

$X_1, X_2, X_3$  = factores variables



$X_4 \dots X_n$  = factores considerados como constantes.

Ibarra (8), indica que los datos básicos para la obtención de una función de producción que representa la respues-  
ta de un cultivo a diferentes niveles de humedad del suelo,  
deberán obtenerse a través de experimentación usando los di-  
seños experimentales más recomendables.

Dentro de los principales diseños experimentales utili-  
zados en la investigación agrícola, Cochran (3) describe los  
siguientes: completamente al azar, bloques al azar, cuadro  
latino y bloques incompletos; en cuanto a diseño de trata-  
mientos, el mismo autor señala los experimentos factoriales  
completos para cuando se estudia más de un factor. Los tra-  
tamientos constan de todas las combinaciones posibles entre  
los factores y sus niveles. Sin embargo, de acuerdo con Mar-  
tínez (9), al estudiarse un número considerable de niveles -  
se obtienen experimentos con un número muy grande de trata-  
mientos. En estos casos, se pueden eliminar algunos trata-  
mientos de tal forma que se conserve cierta simetría en el  
diseño; se plantea por lo tanto, un experimento factorial in  
completo. Las consecuencias de esta reducción son: se lo-  
gra un experimento más manejable y se reducen los costos; a  
cambio de esto se reduce la eficiencia de las estimaciones  
y se complica el análisis estadístico, aunque esta última --  
desventaja se anula si se cuenta con el apoyo de una computa-  
dora electrónica.

Moreno (17), indica que encontrar una función de res-  
puesta o función de producción equivale a estimar los paráme-  
tros.

tros de un modelo estadístico, la estimación de dichos parámetros así como pruebas de algunas hipótesis, se conoce como técnica de regresión que puede ser simple o múltiple y lineal o no lineal.

Walker (12), señala que la regresión puede usarse de dos maneras:

- Como herramienta descriptiva mediante la cual la dependencia lineal de una variable sobre otras es identificada y desglosada. Sus principales usos son encontrar la ecuación que mejor se ajusta a los datos evaluando su precisión y ponderar la contribución de cada una de las variables en la ecuación.
- Como herramienta inferencial a través de la cual se trata de evaluar las relaciones en la población a partir de una muestra.

De acuerdo con Hadley (6), ningún modelo es una imagen exacta del mundo real; las aproximaciones son siempre necesarias y la precisión de un modelo depende del fin para el cual ha sido diseñado. Frecuentemente el mundo real puede representarse con suficiente exactitud por los llamados modelos lineales. Casi todos estos modelos conducen a un conjunto de ecuaciones o inecuaciones simultáneas que pueden ser resueltas mediante las técnicas del álgebra lineal. Desde el punto de vista matemático son muy ventajosos, debido a que la matemática de los modelos no lineales presenta considerables dificultades en su tratamiento analítico, aun con el uso de computadoras. Aparte del análisis matemático hay que considerar la dificultad añ

dida por el análisis estadístico (análisis de varianza y prueba de hipótesis), que sería mayor para un modelo no lineal.

Martínez (10) señala a las funciones lineales de tipo polinómicas, como las más empleadas comúnmente para el análisis cuantitativo de los fenómenos de la producción. Su estructura matemática es la de un polinomio de grado igual o menor que 3. Una de segundo grado es más apropiada para representar funciones de producción que sean estrictamente crecientes o decrecientes en las cantidades de insumos. En caso de que tenga una parte creciente y otra decreciente, la función puede representarse por un polinomio de tercer grado. Así por ejemplo, para dos insumos, el polinomio de segundo grado sería de la forma:

$$E(Y) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1^2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$$

Donde:

$E(Y)$  = valor esperado de la producción

$X_1$  = insumo 1

$X_2$  = insumo 2

$b_0, b_1 \dots b_5$  = conjunto de parámetros desconocidos

#### Revisión de Aspectos Matemático-Económicos

Según Moreno (17) para entender el concepto de optimización es necesario conjugar las matemáticas con la economía.

Palacios (19), considera al suponer a la agricultura de riego como algo eminentemente comercial, que es de esperarse que los agricultores pretendan maximizar su ingreso neto, el cual para un cultivo específico se encuentra dado por:

$$IN = P_y Y - (P_a X_a + C)$$

Donde:

IN = ingreso neto del agricultor

Y = rendimiento del cultivo

$P_y$  = precio del producto

$P_a$  = precio del agua

$X_a$  = cantidad de agua usada

C = otros costos de producción

Para el caso en que se maneja el régimen de humedad o al agua utilizada por etapas fenológicas del cultivo, donde  $X_2$  se transforma en  $X_1, X_2, \dots, X_p$  para  $p$  etapas, la ganancia bruta ( $P_y Y$ ), los costos variables ( $P_a X_a$ ) y los costos fijos  $C$ , se conjugan de la siguiente forma para la obtención de la función de ingreso neto:

$$IN = P_y f(X_1, X_2, \dots, X_p) - P_1 X_1 - P_2 X_2 - \dots - P_p X_p - C$$

Donde:

$P_1, P_2, \dots, P_n$  son los precios unitarios de cada insumo.

Martínez (10) indica que una condición necesaria para que IN sea un máximo, es que sus derivadas parciales, con respecto a las cantidades de insumos  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , sean iguales a cero. En términos matemáticos se tiene:

$$\frac{\partial IN}{\partial X_1} = P_y \frac{\partial f}{\partial X_1} - P_1 = 0$$

$$\frac{\partial IN}{\partial X_2} = P_y \frac{\partial f}{\partial X_2} - P_2 = 0$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\frac{\partial IN}{\partial X_P} = P_Y \frac{\partial f}{\partial X_P} - P_P = 0$$

Estas ecuaciones conducen al sistema:

$$\frac{\partial f}{\partial X_1} = \frac{P_1}{P_Y},$$

$$\frac{\partial f}{\partial X_2} = \frac{P_2}{P_Y}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\frac{\partial f}{\partial X_P} = \frac{P_P}{P_Y}$$

que se resuelve simultáneamente para obtener los niveles óptimos de los  $i$  insumos  $X_1^*$ ,  $X_2^*$ , .....  $X_P^*$

Cuando se ensaya como factor variable al régimen de humedad o al agua utilizada por etapas y se les hace variar mediante la aplicación de diferentes números de riegos dentro de las mismas, los costos variables representados por los diferentes volúmenes de agua usada, son aumentados por otros como costo de aplicación por riego y acarreo del producto. Es por esto que es conveniente generar la variable ingreso neto para cada unidad experimental y obtener la función  $IN = f(X_1, X_2, \dots, X_P)$ , en donde  $X_1, X_2, \dots, X_P$  son los diferentes regímenes de humedad o volúmenes de agua utilizados en las  $P$  etapas fenológicas. Para optimizar esta función se trabajará con el sistema:

$$\frac{\partial IN}{\partial x_1} = 0$$

$$\frac{\partial IN}{\partial x_2} = 0$$

.....

$$\frac{\partial IN}{\partial x_p} = 0$$

Al resolver simultáneamente este sistema se tiene un punto extremo de la función que puede ser máximo o mínimo. Para saber si es máximo es necesario que se cumplan condiciones de segundo orden en las que es necesario utilizar las segundas derivadas parciales de la función ingreso neto; consúltese a Palacios (18).

#### Revisión de Aspectos Sobre Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera

Mojarro (16), señala la importancia del agua en la planta para mantener turgente a los tejidos, regular la apertura estomatal que afecta a la difusión de  $CO_2$  y a la fotosíntesis, la translocación de carbohidratos, el metabolismo del nitrógeno, el nivel hormonal, la respiración, la síntesis de aminoácidos y proteínas, la actividad enzimática, el crecimiento de la parte aérea y desarrollo de las raíces. La planta se desarrolla en dos medios de características diferentes: el suelo y la atmósfera. El suelo puede equipararse a un recipiente que contiene agua, aire y sales minerales, en la que se desarrolla el sistema radical. El agua que contiene el

suelo la proporciona la precipitación, o bien, el hombre por irrigación. La atmósfera es un medio que demanda agua en forma de vapor, por lo que estimula la pérdida de agua de la planta por transpiración y del suelo por la evaporación.

El mismo autor hace referencia al concepto de equilibrio hídrico, definido por el ingreso del agua a la planta por la absorción de las raíces y por la pérdida de ésta por transpiración. Para el desarrollo favorable de la planta se requiere cierto grado de hidratación; cualquier nivel por debajo de éste significa un déficit hídrico debido a una pérdida excesiva por transpiración, una deficiente absorción o ambas.

Cuando el déficit hídrico provoca ajustes en los procesos mencionados inicialmente, se dice que ocurre una sequía en la planta. El efecto de esta deficiencia sobre el crecimiento vegetativo y disminución de rendimiento, dependerá de la intensidad, duración y época del cultivo en que ocurra.

Escobar (4), menciona lo siguiente en el desarrollo del concepto de "energía".

La producción de los cultivos al considerar al factor riegos, es función del consumo de agua (CA) y del régimen de humedad (RH).

$$P = f(CA, RH)$$

En el manejo de ese factor existen dos eventos a controlar: riegos y momento de riego. Estos se repiten sucesivamente y el espacio entre ellos es definido como intervalo de riego.

En el riego se aplica agua para humedecer un volumen de --

suelo apropiado para cada cultivo, en la cantidad necesaria para llevarlo hasta su máxima capacidad de retención, o sea, a capacidad de campo. A partir de este momento comienza el consumo de agua y empieza a transcurrir el intervalo de riego hasta que el contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje ( $P_s$ ), desciende a un nivel no conveniente para el desarrollo del cultivo; es aquí donde se define el momento de riego.

El mismo autor señala el consumo de agua ocurrido durante el intervalo de riego como una función de estado que define el efecto de varios cambios de estado sin describir la variación de éstos en el intervalo de tiempo considerado; ejemplo la evaporación, si fuese únicamente efecto de la temperatura ésta podría variar de diferentes maneras para dar el mismo valor de evaporación.

El régimen de humedad indica el efecto que tiene sobre la producción el estado del agua en el suelo durante el intervalo de riegos, es considerado como una variable de estado que indica la condición instantánea de un sistema. Manejando la curva de tensión de humedad del suelo, las variables de estado que representan al régimen de humedad son: tensión ( $T$ ) y porcentaje de humedad ( $P_s$ ).

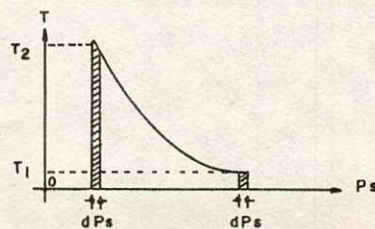


Figura 1.- Curva típica de tensión de humedad del suelo



Analizando  $T$  y  $P_s$  en la Figura 1, donde  $dP_s$  es una pequeña extracción de agua, se observa que la energía necesaria para extraer  $dP_s$  es mayor en suelo seco ( $T_2$ ) que en suelo húmedo ( $T_1$ ). Dicha energía es en ambos casos el área  $TdP_2$  bajo la curva. -- Sus valores dimensionales se encuentran por el siguiente análisis:

$$E = TdP_s = \frac{F}{L^2} \frac{L^3}{\text{kg suelo}} = \frac{F \cdot L}{\text{kg suelo}} = \frac{\text{trabajo o energía}}{\text{kg de suelo}}$$

y sus unidades por el siguiente:

$F \times d = \text{trabajo}$  y  $\text{trabajo es energía}$ ; la tensión se mide en atmósferas y el  $P_s$  en kg de agua por kg de suelo (Kg a/kg s), por lo tanto, las unidades del producto  $TdP_s$  son:

1 atm	kg a	1 lt a	1000 cm <sup>3</sup>	1.033 kg/cm <sup>2</sup>	1 m	=
	Kg s	1 kg a	1 lt a	1 atm	100 cm	

$$10.33 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{s}}$$

Donde:

kg.m = unidades de trabajo susceptibles de transformarse a julios, dinas, calorías, o sea, a cualquier unidad de energía.

En la práctica del riego los cambios de humedad son más amplios y la energía para extraerla se calcula al estimar el área bajo la curva de retención en el intervalo de riego ( $P_{s_2} - P_{s_1}$ ).

$$E = \int_{P_{s1}}^{P_{s2}} K P_s^n dP_s = \int_{P_{s1}}^{P_{s2}} \frac{K}{n+1} P_s^{n+1} dP_s = \frac{K}{n+1} \left( P_{s2}^{n+1} - P_{s1}^{n+1} \right)$$

$$= \frac{K}{n+1} \left[ P_s^{n+1} \right]_{P_{s1}}^{P_{s2}} = \frac{K}{n+1} \left( P_{s2}^{n+1} - P_{s1}^{n+1} \right)$$

Al considerar la densidad aparente, la profundidad de riego y la superficie de  $1 \text{ m}^2$ , los kilográmetros por kilogramo de suelo se transforman en kilográmetros por metro cuadrado:

$$\frac{10.33 \text{ kgr}}{\text{kgr}} * \frac{\text{kgr}}{10^{-3} \text{ m}^3} * \text{m} * \text{m}^2 = 1.033 \times 10^4 \text{ kgr/m}^2$$

$$\text{Como } 426.9 \text{ kgr} = 1 \text{ kilocaloría, } 1.033 \times 10^4 \text{ kgr/m}^2$$

$$= 24.2 \text{ kcal/m}^2$$

La ecuación para calcular energía queda:

$$E = \frac{24.2 * Da * Pr * S * K}{n+1} \left[ P_{s2}^{n+1} - P_{s1}^{n+1} \right]$$

Donde:

$E$  = energía expresada en  $\text{kcal/m}^2$

$Da$  = densidad aparente expresada en  $\text{gr/cm}^3$ ,  $\text{Kg/dm}^3$ , etc.

$P_r$  = profundidad de riego en metros

$S$  = superficie en  $m^2 = 1$

$K$  y  $n$  = constantes de la ecuación de tensión de humedad del suelo.

#### Revisión Acerca del Cultivo del Frijol

Palacios (19) menciona que la mayor parte de los estudios realizados en leguminosas indican gran susceptibilidad al déficit hídrico durante el período de floración, observándose una notable disminución en su rendimiento. La explicación de Salter (24) a lo anterior, es porque estas plantas suspenden la producción de raíces durante la floración y además se reduce su masa radicular debido a la muerte de las raíces más viejas, lo que trae como consecuencia que la absorción del agua sea más difícil. Haciendo referencia a otros trabajos, el mismo autor señala que estas plantas también son muy sensibles al exceso de humedad en el suelo.

En lo que respecta al frijol, Mojarro (16) midiendo el potencial del agua en la hoja al tratar de cuantificar el efecto de períodos de sequía (15 bars) y relacionar estos efectos en forma multiplicativa sobre el rendimiento, no encontró consistencia en sus datos; sin embargo, sus resultados muestran claramente la alta sensibilidad del cultivo al déficit hídrico durante la floración. Al igual que Mojarro, Horner, Robins y Stoker mencionan esa condición para la etapa de floración y para toda la etapa reproductiva (7, 22, 25).

Mc Master et al. (14) en Idaho, estudiaron el efecto de dos tratamientos de riego impuestos en dos etapas de creci--

miento en el cultivo del frijol. El riego se dió cuando el 40% o el 60% del agua disponible del suelo fue disminuída. Se encontró que dando el tratamiento más húmedo de la época de plantío hasta la floración aumentó el rendimiento de semilla y que la madurez se alcanzó más temprano. El nivel de humedad más bajo desde la floración a la madurez también tendió a apresurar ésta, pero a expensas del rendimiento de semilla.

Para una mayor producción de materia seca, el área foliar debe ser suficiente para ofrecer la máxima capacidad de intercepción de la radiación solar. Beltrao y Díaz, citados por Mojarro (16), reportan una correlación positiva entre el peso total seco por planta y el peso del grano. Sin embargo, Mitchell, citado por el mismo autor, indica que una área foliar excesiva puede crear condiciones de sombreado para una gran parte de las hojas situadas hacia el interior de la cubierta vegetal, haciendo que los carbohidratos sean utilizados a una mayor velocidad de la que son sintetizados.

En experimentos realizados en los Distritos de Riego N° 024 en Michoacán y 034 en Zacatecas, se ensayaron niveles de humedad aprovechable, resultando mejor el 30% en ambos casos, con rendimientos en grano de 2.054 y 2.127 toneladas por hectárea respectivamente (23) y (27).

Flores y Alvarado (5), realizaron un experimento en la región en el que probaron cinco calendarios de riego y dos variedades de frijol Matamoros 64 y Delicias 71. Concluyeron lo siguiente: la aplicación de tres auxilios, el primero a los 36, el segundo a los 55 y el tercero a los 74 días des-

pués de la siembra, cubre las tres etapas críticas de inicio de floración, formación y llenado de grano. No hubo diferencia entre variedades.

Meraz (15), en un experimento realizado en CENAMAR en 1978, no encontró diferencia entre los tratamientos de tensiones de humedad por el efecto de la lluvia, pero estableció con bastante precisión la fenología del cultivo del frijol (variedad Matamoros 64) para la región, de la siguiente manera:

La formación de botones florales se inicia a los 30 días a partir de la germinación y dura un período de 30 días. La floración comienza a los 35 días y se prolonga durante un lapso de 30 días. La producción de frutos se inicia a los 45 días y tiene una duración de 20 días. El período de maduración dura de 25 a 30 días. Asentó también que el contenido de humedad del suelo se refleja en la producción de botones florales.

## MATERIALES Y METODOS

*Localización del Sitio Experimental*

Este trabajo se desarrolló en la Región Lagunera, en el Municipio de Gómez Palacio, Dgo., México, dentro del campo agrícola experimental del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR), ubicado al margen derecho del Canal principal Sacramento en el km 6+500. La situación geográfica del lugar es de 25°33' latitud norte, 103°31' longitud al oeste del Meridiano de Greenwich y a 1,129 m sobre el nivel del mar (2).

La Región Lagunera está situada en la parte Centro-Norte de la República Mexicana; comprende la porción sureste -- del Estado de Coahuila y Noroeste del Estado de Durango.

*Clima del Lugar*

De acuerdo con la clasificación de climas de Thorntwaite (2), el clima del lugar es muy seco con deficiencia de -- lluvia en todas las estaciones, temperatura semicálida con -- invierno benigno (EdBb'). A continuación se presentan los -- datos promedio de algunos factores climáticos de acuerdo a -- los archivos del CENAMAR.

1975 - 1981

Temperatura media anual - - - - -	20°C
Temperatura media del mes más frío (enero)	12.6°C
Temperatura media del mes más caliente (junio)	25.9°C
Precipitación media anual - - - - -	220 mm
Evaporación media anual - - - - -	2,543 mm

## Datos Climatológicos Registrados Durante el Desarrollo Del Experimento

Como se observa en el Cuadro 2, se registraron valores de temperatura y evaporación ligeramente más altos con respecto a la media de seis años. La precipitación fue menor excepto en los meses de junio y octubre, en los que aumentó en forma considerable. Sin embargo, debido a que se sembró el 26 de junio y se terminó de cosechar a mediados de octubre, la precipitación ocurrida dentro del ciclo vegetativo para estos meses no tuvo influencia en la aplicación de los riegos ni en el consumo de agua por el cultivo.

CUADRO 2. DATOS CLIMATOLÓGICOS REGISTRADOS DURANTE EL EXPERIMENTO.

MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)		PRECIPITACION MENSUAL (mm)		EVAPORACION MEDIA DIARIA (mm)	
	1975-1980	1981	1975-1980	1981	1975-1980	1981
Jun	25.95	26.6	21.6	46.2	10.3	10.4
Jul	25.79	26.5	29.2	6.9	8.9	10.3
Ago	24.99	25.7	43.8	6.2	8.1	8.8
Sep	22.91	23.9	32.7	11.8	6.7	7.1
Oct	20.0	21.4	10.5	54.2	5.4	5.2

### Características Generales del Suelo

El suelo donde se realizó el experimento pertenece a la serie Coyote, la más importante en la Región por su extensión. Los suelos de esta serie se caracterizan por ser de bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y normales en pH (20).

## Características Físicas del Suelo.

Para obtener estas características se tomaron cuatro muestras dentro del sitio experimental; cada muestra consistió en tres submuestras al considerarse capas de 30 cm de profundidad del suelo. Estas muestras fueron procesadas en el laboratorio de análisis de agua-suelo-planta del CENAMAR. Después de la obtención de las características físicas se calcularon los valores medios para cada capa de suelo, mismos que se presentan en el Cuadro 1 del apéndice.

**Textura.** Se determinó con el método del hidrómetro de Bouyoucos.

**Constantes de Humedad del Suelo.** La capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente se estimaron como el porcentaje de humedad retenido por el suelo a tensiones de 0.3 y 15 atm respectivamente. Para esto se utilizaron la olla y membrana de presión. El contenido de humedad a saturación se determinó con la pasta de saturación [21].

**Densidad Aparente.** Esta determinación se realizó con el método de la barrera de núcleos o de volumen conocido diseñada por Uhlund [1].

**Curvas de Tensión de Humedad del Suelo.** Estas se obtuvieron mediante el uso de la olla y membrana de presión. Se sometieron muestras de suelo saturado a diferentes tensiones en el rango de 1/3 a 15 atm. Los datos se ajustaron al modelo potencial  $T = KP_{\frac{1}{3}}^n$  con auxilio de una calculadora manual y programable.

En el Cuadro 3 se presentan las ecuaciones obtenidas por



profundidad y se incluye también una curva promedio dadas las características de retención de humedad semejantes entre las dos profundidades.

CUADRO 3. ECUACIONES DE LAS CURVAS DE TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO.

PROFUNDIDAD (cm)	E C U A C I O N E S
0 - 30	$T = 1\ 930\ 628\ 129\ p_{\delta}^{-6.54}$
30 - 60	$T = 497\ 587\ 539\ p_{\delta}^{-6.30}$
Promedio	$T = 993\ 445\ 826\ p_{\delta}^{-6.42}$

#### Características Químicas del Suelo.

Al igual que las características físicas, las características químicas fueron obtenidas a partir del muestreo descrito anteriormente mediante metodologías convencionales de laboratorio propuestas por Richards [21]. Los valores medios de estas determinaciones se presentan en el Cuadro 2 del apéndice.

Clasificación del Suelo. De acuerdo a lo propuesto por Richards [21], la clasificación por salinidad del suelo experimental corresponde a la de un suelo normal.

#### Características del Agua

##### Fuente de Abastecimiento.

El agua con que se regó este experimento provino de la Presa Lázaro Cárdenas, que representa la principal fuente de abastecimiento para los cultivos de verano en el Distrito de

Riego N° 017.

### Características Químicas del Agua.

Se determinaron las siguientes: pH, conductividad eléctrica, aniones, cationes y otras. Las metodologías de laboratorio empleados fueron las propuestas por Richards (21). - Los resultados se muestran en el Cuadro 3 del apéndice.

### Clasificación del Agua.

En base a los resultados anteriores, la clasificación del agua según Richards (21), corresponde a una  $C_1-S_1$ ; el agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio.

### Diseño Estadístico

#### Diseño Experimental.

El diseño experimental empleado fue bloques al azar con tres repeticiones.

#### Diseño de Tratamientos.

Este fue un factorial incompleto con dos factores de estudio, cuatro niveles para el primero y seis para el segundo.

#### Factores y Niveles en Estudio.

Los factores de estudio fueron los regímenes de humedad en el suelo en dos etapas fenológicas del cultivo.

Las etapas fenológicas consideradas fueron:

**Etapas Vegetativa.** Esta etapa comprendió desde el momento de la siembra hasta cuando al menos una planta en las tres repeticiones presentara un botón floral (inicio de botones florales).

Etapa Reproductiva. Esta etapa abarcó desde el inicio de los botones florales hasta cuando dos terceras partes de las vainas estuvieran de un color amarillo y el otro tercio en estado de ejote macizo (cosecha).

Con el fin de hacer variar los regímenes de humedad dentro de cada etapa fenológica, se programaron diferentes número de riegos de tal forma que, con fines de programación, -- los factores en estudio se transformaran en número de riegos en dos etapas fenológicas del cultivo. Los niveles de estudio fueron de uno a cuatro riegos en la primer etapa y de -- uno a seis riegos en la segunda etapa.

De acuerdo con el arreglo, los tratamientos probados -- fueron los enumerados en el Cuadro 4.

CUADRO 4. TRATAMIENTOS PROBADOS.

NUMERO DEL TRATAMIENTO	NUMERO DE RIEGOS 1a. ETAPA	NUMERO DE RIEGOS 2a. ETAPA
1	1	1
2	1	2
3	1	4
4	1	6
5	2	1
6	2	3
7	2	5
8	2	6
9	3	1
10	3	2
11	3	4
12	3	6
13	4	2
14	4	4
15	4	6

La programación de los riegos se hizo en base a los valores medios mensuales de evaporación del agua registrada (tanque tipo A) en CENAMAR de 1975 a 1980, de tal forma que quedaron igualmente espaciados dentro de cada etapa para cada tratamiento en intervalos de evaporación y la aplicación de éstos se realizaba al cumplirse el intervalo correspondiente.

De acuerdo con el Cuadro 5 y a la fenología del cultivo, se programaron 333 y 447 mm de evaporación para la primera y segunda etapa respectivamente. Estos valores se dividieron entre el número de riegos correspondiente a cada tratamiento y se obtuvieron los intervalos de evaporación respectivos.

CUADRO 5. PROGRAMACION DE LOS RIEGOS EN BASE A EVAPORACION.

TRATAMIENTO	NUMERO DE RIEGOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 - 1	0	333*								
1 - 2	0	333	224							
1 - 4	0	333	112	112	112					
1 - 6	0	333	74	74	74	74	74			
2 - 1	0	166	166							
2 - 3	0	166	166	149	149					
2 - 5	0	166	166	89	89	89	89			
2 - 6	0	166	166	74	74	74	74	74		
3 - 1	0	111	111	111						
3 - 2	0	111	111	111	224					
3 - 4	0	111	111	111	112	112	112			
3 - 6	0	111	111	111	74	74	74	74	74	
4 - 2	0	83	83	83	83	224				
4 - 4	0	83	83	83	83	112	112	112		
4 - 6	0	83	83	83	83	74	74	74	74	74

\* Evaporación programada entre riegos.

Como tratamiento Número deciseis se incluyó un testigo - al que se le proporcionaron cuatro riegos de acuerdo a las recomendaciones del Centro Regional del INIA (CIAN) Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte (11), ajustándose al siguiente programa de riegos en días: 0-25-24 y 16

Parcela Experimental.

La parcela experimental estuvo constituida por tres camas de 1.60 m de ancho por 10 m de longitud, más una cama sin sembrar de separación para un total de 6.4 x 10 m [64 m<sup>2</sup>]. Como parcela útil se seleccionó la cama central, de la cual se desechó metro y medio al inicio y al final para evitar efecto de orilla, quedando con dimensiones de 1.6 x 7 m [11.2 m<sup>2</sup>]. Los detalles de la parcela experimental pueden observarse en la Figura 1 del apéndice.

Distribución de los Tratamientos en Campo.

La distribución de los 16 tratamientos ensayados, incluyendo el testigo, se puede ver en la Figura 2 del apéndice.

Variables Analizadas.

Las variables analizadas se han clasificado en dos grupos: variables dependientes y variables independientes.

Variables Dependientes. Las variables dependientes analizadas fueron las siguientes:

Rendimiento en grano (ton/ha)

Ingreso neto (\$/ha)

El cálculo de la variable ingreso neto se realizó para cada tratamiento en cada repetición, en base a la fórmula siguiente:

$$IN = UB - (CF + CV)$$

$$UB = R * PP$$

$$IN = \text{Ingreso neto (\$/ha)}$$

$$CF = \text{costos fijos (\$/ha)}$$

$$CV = \text{costos variables (\$/ha)}$$

$$R = \text{rendimiento en grano (ton/ha)}$$

$$PP = \text{precio del producto (\$/ton)}$$

En el Cuadro 4 del apéndice aparecen los costos del cultivo de frijol así como el precio de garantía para el subciclo Primavera-Verano 1981 en la Región Lagunera. Estos fueron aprobados en enero del mismo año con la intervención del BANRURAL, ANAGSA, FIRA, FERTIMEX, CIAN y representantes de la SARH (26).

*Variables Independientes.* Las variables independientes estuvieron constituidas por las diversas formas de representar el régimen de humedad del suelo, considerándolo como la variación de la humedad del suelo en el transcurso del tiempo. Para el presente caso, en el transcurso de dos etapas fenológicas del cultivo. Su descripción y metodología de cálculo se presenta a continuación:

*Humedad Aprovechable (HA).* Humedad residual expresada como un porcentaje de la capacidad de retención del estrato correspondiente a la profundidad de riego, antes de la aplicación de éste o al final de un periodo determinado.

$$HA = \frac{\sum_{i=1}^J \frac{\bar{P}_{s_i} - \bar{PMP}}{CC - \bar{PMP}}}{J} * 100$$

Tensión al Riego (T RIEG). Tensión de humedad registrada en atmósferas como un valor puntual antes de la aplicación de los riegos o al final de una etapa. Su obtención se basa en la curva media de tensión de humedad del suelo de la profundidad del riego (0-60 cm).

$$T \text{ RIEG} = \frac{\sum_{i=1}^J K \bar{P}_{s_i}^n}{J}$$

Energía (E). Energía que cuesta extraerle al suelo un volumen de agua en un metro cuadrado de superficie y a la profundidad de riego. Su determinación consiste en integrar el área bajo la curva de retención.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^J \frac{24.2 \bar{D} a P r S K}{n+1} \left[ \bar{C}^{n+1} - \bar{P}_{s_i}^{n+1} \right]}{J}$$

Tensión Media (T med). Valor medio de tensión correspondiente a un intervalo de la curva de tensión de humedad, definido entre el valor de capacidad de campo y el porcentaje de humedad registrado al momento del riego. Su determinación se basa en el teorema del valor medio, que consiste en obtener el área bajo la curva de tensión de humedad para el intervalo mencionado anteriormente y dividir esa área entre el mismo intervalo. Se puede concebir por esto, como la energía media necesaria para extraer una unidad de  $P_s$ :

$$T_{med} = \frac{\sum_{i=1}^J \left[ \frac{1}{\overline{CC} - \overline{P}_{s_i}} \left( \overline{P}_{s_1} K P_s^n d P_s \right) \right]}{J}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^J \left[ \frac{K}{n+1} \left( \frac{\overline{CC}^{n+1} - \overline{P}_{s_i}^{n+1}}{\overline{CC} - \overline{P}_{s_i}} \right) \right]}{J}$$

Consumo de Agua (CA). A pesar de que no representa al régimen de humedad se incluyó como variable independiente al consumo de agua total por etapas. Su valor se expresa en centímetros y se obtuvo por medio de un balance entre el agua aplicada y el agua residual hasta la profundidad del suelo de 1.50 m. Para lograrse esto se muestreó hasta dicha profundidad antes del riego de presiembra, al cambio de etapa y a la cosecha para cada tratamiento.

A continuación se presenta el significado de las literales empleadas:

$\overline{CC}$ : Valor medio de capacidad de campo en la profundidad de riego (60 cm)

PMP: Valor medio del punto de marchitamiento permanente en la profundidad de riego.

$P_s$ : es el contenido de humedad expresado en por ciento.

J: Es el número de riegos o intervalos entre riegos para cada etapa y cada tratamiento.

i: Cada uno de los riegos o intervalo entre riegos.

$\overline{P}_{s_i}$ : Porcentaje de humedad media para la profundidad de



riego antes de la aplicación de éste.

Pr: profundidad de riego en metros

s: Superficie ( $1 \text{ m}^2$ )

K: Constante de la ecuación de tensión de humedad

n: exponente de la ecuación de tensión de humedad.

Obtención de la Función de Producción.

Para determinar la función de producción se relacionaron las variables independientes con las variables dependientes mediante el criterio de regresión múltiple. Para esto, se contó con la ayuda del computador CDC - CYBER 70 instalado en la Ciudad de México a través de una de sus terminales instalada en la Ciudad de Lerdo, Durango. Se utilizó el paquete estadístico computacional para las ciencias sociales (SPSS), el cual incluye al procedimiento REGRESSION.

#### Labores Agronómicas

En la práctica de las diversas labores agronómicas, se siguieron las normas sugeridas por el INIA (11).

Preparación del Terreno.

Consistió en un barbecho profundo seguido de un rastreo doble, paso de land plane y el levantamiento topográfico que definió el trazo de riego.

Variedad.

Se utilizó la variedad Matamoros-64, que es de tipo semiguña, con ciclo vegetativo de 95 a 100 días, utilizándose una densidad de 40 kg de semilla por hectárea. Esta variedad es la recomendada para sembrarse en la región durante el período del 1° de junio al 10 de julio.

### Siembra.

La fecha de siembra fue el día 26 de junio de 1981. Se realizó en húmedo en cama melonera de 1.6 m de ancho y en forma mecánica, para lo cual se empleó la sembradora de botes; - se sembró a doble hilera sobre la cama melonera dejando una separación de 60 cm entre hileras y aproximadamente 13 cm entre plantas.

### Fertilización.

Se fertilizó en forma mecánica al momento de la siembra mediante el uso de tolvas fertilizadoras, instaladas junto a la máquina sembradora. La fórmula utilizada fue la 40-40-00, empleándose nitrato de amonio y superfosfato triple como fuente de nitrógeno y fósforo, respectivamente.

### Cultivos.

Los cultivos se realizaron en forma mecánica con cultivadora "Lilliston" durante la primera etapa y después de cada riego.

### Deshierbes.

Se hicieron tres deshierbes en forma manual durante el ciclo vegetativo del cultivo, aproximadamente cada 20 días -- después de la siembra.

### Plagas.

Hubo dos aplicaciones de plaguicidas: la primera fue el 11 de julio para controlar el trips (Thrips Sp), aplicándose Malathion 1000, con una dosis de 1 litro por hectárea. La segunda fue el día 14 de agosto contra trips y minador (Liriomyza Sp), y se aplicó Folimat 1000 con una dosis de 0.5 litros

por hectárea. Las aplicaciones se hicieron utilizando aspersores de tipo manual.

#### Cosecha.

La cosecha de la parcela útil especificada anteriormente así como la separación del grano se realizaron en forma manual. Esta se realizó cuando dos terceras partes de la vaina estuvieron de color amarillo y el otro tercio estuvo en estado de ejote macizo.

Tanto la fecha de cosecha como la del cambio de etapa fueron variables para los diversos tratamientos, aspecto que será discutido como parte de los resultados.

#### Muestreo Gravimétrico

El objetivo del muestreo gravimétrico fue determinar el contenido de humedad del suelo. Esta determinación se obtuvo por diferencia de peso entre el suelo húmedo y el suelo secado a la estufa hasta peso constante, a una temperatura de 110°C; se expresa como una proporción o porcentaje del peso del suelo seco.

#### Momento de Muestreo.

Se realizó el muestreo de las unidades experimentales un día antes y el día de aplicación de los riegos para cada tratamiento. Con el primer muestreo se calculó la lámina a reponer y con el segundo se registró el régimen de humedad al momento del riego.

#### Sitio de Muestreo.

Cada parcela o unidad experimental fue muestreada den--

tro del área correspondiente a la parcela útil y sobre la hilera de plantas.

#### Profundidad de Muestreo.

De acuerdo al tipo de cultivo, tanto para reponer el -- agua consumida como para registrar el régimen de humedad, se consideró hasta 60 cm de profundidad del suelo dividida en -- dos subcapas de 30 cm cada una.

Como se asentó anteriormente, este muestreo se amplió -- hasta 1.50 m de profundidad en tres ocasiones: antes del -- riego de presiembra, al cambio de etapa y a la cosecha, con el fin de obtener por medio de un balance el agua consumida por etapas.

#### Tipo de Barrena.

Se muestreó con barrena tipo Vehimeyer de 2.6 cm de diá -- metro, de forma tal que se extrajeron muestras de suelo de -- 100 a 150 gramos por perfil de 30 cm; Éstas se recogían en -- taras de aluminio con capacidad de 125 cm<sup>3</sup>.

#### Número de Muestras.

Fueron tres el número de muestras realizadas por capa -- de 30 cm de profundidad en cada unidad experimental, de mane -- ra que al considerar las tres repeticiones se obtuvieron nue -- ve muestras por tratamiento para cada profundidad (0-30 y 30- -- 60). Estos nueve valores fueron promediados para obtener un -- valor medio representativo del contenido de humedad, obser -- bándose la variación entre ellos y teniendo la precaución de -- eliminar algún valor que, por error de muestreo o de pesada, -- hubiese resultado muy desviado respecto al valor medio.

### Aplicación de los Riegos

Con los resultados del primer muestreo, o sea el de un día antes del riego, se calculaba la lámina de riego a reponer. Estos cálculos se hacían para reponer la humedad hasta capacidad de campo en la profundidad de riego:

$$Lr = \frac{(CC - Ps) Da * Pr}{100}$$

Donde:

$Lr$  = lámina de riego (cm)

$CC$  = valor medio de capacidad de campo (%)

$Ps$  = porcentaje de humedad antes del riego (%)

$Da$  = densidad aparente del suelo en la profundidad de riego ( $gr/cm^3$ )

$Pr$  = profundidad del riego (60 cm)

De acuerdo a la Figura 2 del apéndice, la aplicación del agua de riego a las parcelas, procedente de los canales paralelos a las repeticiones, se realizaba por medio de sifones de aluminio de 1 3/8" de diámetro previamente calibrados. En la Figura 3 del apéndice aparecen la ecuación y la gráfica de relación carga-gasto.

El gasto por parcela fue constante, independientemente del volumen por aplicar. Se utilizó un sifón por cama con -- carga de 4 cm para un gasto de 0.572 lt/seg. Considerando -- cuatro camas por parcela se tuvo un gasto de 2.288 lt/seg. -- El aforo de los sifones se realizó mediante el uso de manguera transparente y regla graduada, checándose la carga en intervalos de tiempo de aproximadamente cada 5 minutos. En la

Figura 2 se ilustra la forma del aforo.

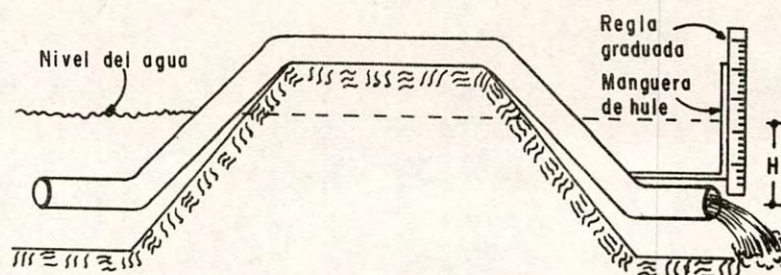


Figura 2. Aforo del sifón

Para evitar fuertes variaciones del tirante hidráulico en los canales paralelos a las repeticiones, se instalaban en éstos vertedores rectangulares de demasías, como el que se muestra en la Figura 3.

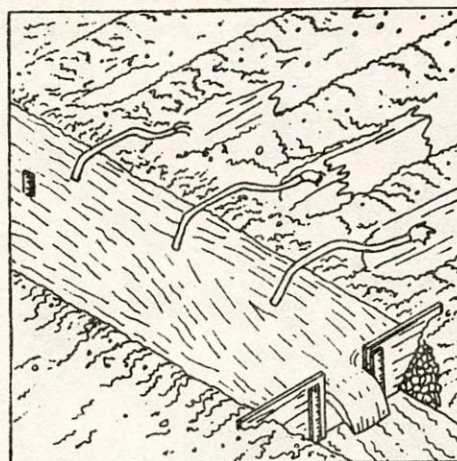


Figura 3.- Control de la carga hidráulica

El riego se aplicaba en forma progresiva por repetición; primero se llenaba la regadera principal transversal a los tratamientos por medio de sifones de 2" de diámetro instalados en un canal revestido de cemento. El gasto en este canal se regulaba por medio de compuertas metálicas rectangulares.

En base al número de tratamientos por regar y de su ubicación dentro de las repeticiones, el riego se dividió en -- "tandas" que agrupaban a las parcelas más próximas entre sí. Los vertedores se instalaban al final de cada tanda y por lo regular se manejaban dos o tres tandas por repetición. Una vez lleno el canal principal, se aplicaba el agua al canal de la primera repetición con un gasto ligeramente mayor al requerido por la primer tanda, suficiente para compensar las pérdidas por filtración y para que funcionara el vertedor correspondiente durante el tiempo de aplicación. Si las parcelas de la primer tanda en la primer repetición eran pocas, entonces se procedía a regar la primer tanda de la segunda repetición. Normalmente se regaban simultáneamente un máximo de 8 parcelas. A medida de que avanzaba el riego en las repeticiones se ajustaba el gasto de entrada y de distribución mediante el aumento o la disminución del número de sifones en operación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Influencia del Régimen de Humedad sobre la Duración del Ciclo Vegetativo del Cultivo

Los tratamientos de 4 y 3 riegos que consumieron 21.9 y 18.4 cm de lámina de agua, con un régimen de humedad de 1.7 y 2.7 kcal/m<sup>2</sup> durante la primera etapa, tuvieron una duración de la misma de 34 días. Los más secos de 2 y 1 riegos, con consumos de agua de 17.8 y 12.1 cm y régimen de humedad de 5.4 y 8.6 kcal/cm<sup>2</sup>, presentaron una duración de 39 días, 5 días más que los de 3 y 4 riegos. Lo anterior coincide con lo obtenido por Mc Master [14]: una mayor disponibilidad de agua en el período de la siembra hasta antes de la floración, disminuye la duración de éste.

El mismo autor señala un efecto inverso del régimen de humedad sobre la duración de la segunda etapa con respecto a la primera, lo que también se observó en el presente estudio.

En el Cuadro 6 se observa una diferencia de aproximadamente 15 días de duración de la segunda etapa, entre los tratamientos de 6 riegos (2.5 kcal/m<sup>2</sup>) con respecto a los de un riego (8.6 kcal/m<sup>2</sup>); a mayor castigo, mayor precocidad para la segunda etapa.

Una condición de humedad en la primera etapa y sequía en la segunda, aumenta la precocidad del cultivo y viceversa. Por esta razón, se observó una variación máxima de 28 días en todo el ciclo del cultivo.



CUADRO 6. DURACION EN DIAS DEL CICLO VEGETATIVO TOTAL Y POR ETAPAS EN ORDEN CRECIENTE.

TRATAMIENTO	ETAPA 1	ETAPA 2	T O T A L
3 - 1	34	50	84
4 - 2	34	52	86
2 - 1	39	52	91
Testigo	39	52	91
1 - 1	39	55	94
3 - 2	34	61	95
2 - 3	39	56	95
4 - 4	34	64	98
3 - 4	34	64	98
4 - 6	34	66	100
3 - 6	34	66	100
2 - 5	39	63	102
2 - 6	39	63	102
1 - 2	39	68	107
1 - 4	39	71	110
1 - 6	39	73	112

### Datos climatológicos Registrados

Durante el ciclo vegetativo del cultivo se hizo el registro diario de los siguientes factores climatológicos: temperatura máxima (T MAX), temperatura mínima (T MIN), temperatura media (T MED), evaporación (EV) y precipitación (PP); -- los valores se presentan en el Cuadro 5 del apéndice.

### Variables Independientes

Como se mencionó anteriormente, las variables independientes estudiadas fueron: humedad aprovechable, tensión al riego, tensión media, energía, agua consumida y agua aplicada; se incluyó también en el análisis, a pesar de que no cumple la condición de variable continua, el número de riegos. Los valores de los niveles ensayados para cada tratamiento se presentan en el Cuadro 7; para el cálculo de estos valores se utilizó una calculadora manual programable.

### Variables Dependientes o Variables Respuesta

Los resultados por tratamiento y repetición de las variables dependientes rendimiento en grano e ingreso neto, se presentan en los Cuadros 8 y 9.

### Secuencia de Análisis

#### Análisis de Varianza.

Se practicó este análisis a las dos variables dependientes para el diseño de bloques al azar. Los resultados se presentan en los Cuadros 6 y 7 del apéndice.

De este análisis se concluyó que para ambas variables, los tratamientos probados no eran estadísticamente iguales entre sí.

CUADRO 7. VARIABLES INDEPENDIENTES CALCULADAS POR TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO N° RIEGOS	HUMEDAD APROVECHABLE (%)		TENSION AL RIEGO (atm)		TENSION MEDIA (atm)		ENERGIA (K cgl) m		AGUA CONSUMIDA (cm)		AGUA APLICADA (cm)	
1 - 1	0	0	15.00	15.00	3.492	3.492	8.628	8.628	12.12	12.93	14.00	11.20
1 - 2	0	0	15.00	15.00	3.492	3.492	8.628	8.628	12.12	23.85	14.00	22.97
1 - 4	0	11	15.00	10.10	3.492	2.480	8.628	5.630	12.12	37.09	14.00	37.71
1 - 6	0	30	15.00	4.09	3.492	1.373	8.628	2.496	12.12	40.92	14.00	45.01
2 - 1	13	0	9.79	15.00	2.395	3.492	5.413	8.628	17.83	16.36	21.77	10.27
2 - 3	13	5	9.79	13.41	2.395	3.118	5.413	7.511	17.83	34.52	21.77	30.56
2 - 5	13	24	9.79	6.43	2.395	1.798	5.413	3.725	17.83	39.41	21.77	43.30
2 - 6	13	29	9.79	5.92	2.395	1.398	5.413	2.548	17.83	44.42	21.77	46.56
3 - 1	28	0	4.46	15.00	1.460	3.492	2.724	8.628	18.37	20.04	27.45	9.28
3 - 2	28	0	4.46	15.00	1.460	3.492	2.724	8.628	18.37	31.12	27.45	20.91
3 - 4	28	5	4.46	12.29	1.460	2.906	2.724	6.873	18.37	44.26	27.45	38.98
3 - 6	28	24	4.46	5.86	1.460	1.703	2.724	3.425	18.37	50.51	27.45	48.86
4 - 2	39	0	2.78	15.00	1.081	3.492	1.726	8.628	21.95	29.36	31.64	20.23
4 - 4	39	4	2.78	12.88	1.081	3.007	1.726	7.165	21.95	43.62	31.64	38.57
4 - 6	39	32	2.78	4.31	1.081	1.387	1.726	2.563	21.95	42.98	31.64	43.12

CUADRO 8. VARIABLE RESPUESTA RENDIMIENTO EN GRANO (ton/ha).

FECHA TRATAMIENTOS	REPETICIONES			
	I	II	III	$\bar{X}$
1 - 1	0.395	0.480	0.474	0.450
1 - 2	1.093	0.972	1.076	1.047
1 - 4	1.601	1.590	1.620	1.604
1 - 6	1.463	1.783	1.520	1.589
2 - 1	0.687	0.391	0.549	0.542
2 - 3	2.446	2.404	2.536	2.462
2 - 5	1.541	1.812	1.373	1.575
2 - 6	2.418	1.766	1.663	1.949
3 - 1	0.794	0.669	0.772	0.745
3 - 2	1.457	1.604	1.501	1.521
3 - 4	1.769	1.988	2.135	1.964
3 - 6	2.151	2.359	1.589	2.033
4 - 2	0.817	1.111	0.971	0.966
4 - 4	1.726	1.663	1.732	1.707
4 - 6	1.885	1.798	1.986	1.890
Testigo	1.172	1.270	0.915	1.119

CUADRO 9. VARIABLE RESPUESTA INGRESO NETO (\$/ha).

F E C H A	R E P E T I C I O N E S			
TRATAMIENTOS	I	II	III	$\bar{X}$
1 - 1	-4679	-3336	-3431	-3815
1 - 2	4709	3797	5440	4982
1 - 4	12805	12632	13106	12848
1 - 6	9993	15049	10894	11979
2 - 1	-509	-5186	-2689	-2795
2 - 3	26132	25468	27554	26385
2 - 5	10893	15265	8329	11526
2 - 6	24539	14238	12610	17129
3 - 1	824	-1151	476	50
3 - 2	10664	12987	11359	11670
3 - 4	14531	17991	20314	17612
3 - 6	19831	23118	10952	17967
4 - 2	242	4887	2675	2601
4 - 4	13530	12535	13625	13230
4 - 6	15521	14146	17116	15594
T	6612	8160	2551	5774

En base a esto, lo siguiente sería realizar una prueba de -- comparación de medias con el fin de diferenciar tratamientos. Sin embargo, de acuerdo a los objetivos planteados, se pretendía analizar los datos de una forma continua y no puntual. Por lo tanto, se procedió a encontrar el modelo de regresión que diera un mejor ajuste a los datos.

#### Selección de los Mejores Modelos.

El modelo de regresión propuesto fue el cuadrático completo:

$$R = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1^2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$$

Donde:

$R$  = rendimiento o valor de la variable dependiente

$b_0$  = constante de regresión que representa el valor de  $R$  al origen

$b_i$  = coeficiente de regresión, donde  $i = 1, 2, \dots, 5$

$X_1$  y  $X_2$  = régimen de humedad en el suelo durante la primera y segunda etapas.

En virtud de que se estudiaron 6 variables independientes y dos dependientes, se seleccionaron un total de 12 modelos, uno para cada combinación de variables. En los Cuadros 10 y 11 se presentan los coeficientes ( $b$ ) de los modelos seleccionados, así como sus respectivos niveles de significancia ( $\alpha$ ). Aparecen también los coeficientes de determinación de cada modelo ( $R^2$ ). La selección se basó en escoger el modelo que presentara un mayor valor de  $R^2$  con coeficientes de regresión significativos a un nivel de  $\alpha = 0.05$ . Para las variables representativas del régimen de humedad, resultaron signi-

ficativos  $b_0$ ,  $b_2 - b_3$  y  $b_4$ , excepto para humedad aprovechable.

#### Selección de la Mejor Variable Independiente.

En los Cuadros 10 y 11 se presentan en orden decreciente de acuerdo al grado de ajuste al modelo, las mejores variables independientes. Número de riegos y consumo de agua total por etapas aparecen como las dos mejores. Sin embargo, estas no representan el régimen de humedad como una variación en el contenido de humedad del suelo a través de cada etapa fenológica estudiada.

En lo que respecta a las cuatro variables restantes que representan al régimen de humedad, éstas resultaron con características de ajuste al modelo muy similares en lo que respecta a coeficientes de regresión significativos, niveles de significancia y coeficientes de determinación, exceptuando a la variable humedad aprovechable para la cual fue más significativo el efecto lineal ( $b_1$ ) que el efecto cuadrático ( $b_3$ ) para la primera etapa. Se puede elegir a la variable independiente energía para representar al régimen de humedad en la función de producción, tanto desde el punto de vista fisiológico (rendimiento en grano) como económico (ingreso neto):

$$R = 0.51089702 + 0.73343703 X_2 - 0.0052327365 X_1^2 - 0.0766287 X_2^2$$

$$IN = -5369.2258 + 11101.293 X_2 - 65.190976 X_1^2 - 1139.9594 X_2^2$$

Donde:

$R$  = rendimiento en grano (ton/ha)

$IN$  = ingreso neto (\$/ha)

$X_1$  = energía 1a. etapa (kcal/m<sup>2</sup>)

$X_2$  = energía 2a. etapa (kcal/m<sup>2</sup>)

CUADRO 10. MODELOS CUADRATICOS SELECCIONADOS PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE RENDIMIENTO EN GRANO (ton/ha.)

VARIABLE INDE PENDIENTE	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	R <sup>2</sup>
Consumo de agua CA	-3.2562444 0.005 *	0.37060252 0.005	0.085593839 0.002	-0.016079072 0.000	-0.0018866596 0.000	0.0046860805 0.005	0.81108
Nº de riegos NR	-0.97031457 0.005	0.78438721 0.001	0.89491164 0.000	-0.17332678 0.000	-0.10404119 0.000	0.030997746 0.187	0.78322
Energía E	0.51089702 0.308	- - -	0.73343703 0.001	-0.0052327365 0.018	-0.0766287 0.000	- - -	0.57815
Tensión media T MED	-0.76308228 0.369	- - -	2.8311212 0.001	-0.034179155 0.019	-0.65223906 0.000	- - -	0.57243
Tensión al riego T RIEG	0.33242482 0.541	- - -	0.45958454 0.001	-0.0017315868 0.019	-0.02697217 0.000	- - -	0.55683
Humedad aprovecha ble HAP	0.78355727 0.000	0.011713829 0.011	0.13712694 0.000	- - -	-0.0037744712 0.000	- - -	0.54598

\* Nivel de significancia (α)



CUADRO 11. MODELOS CUADRATICOS SELECCIONADOS PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE INGRESO NETO (\$/ha).

VARIABLE INDE PENDIENTE	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	R <sup>2</sup>
Consumo de Agua A	-62945.370 0.001 *	6048.4638 0.004	1316.7172 0.002	-262.23429 0.000	-30.585467 0.000	74.308272 0.005	0.77389
Nº de riegos NR	-24925.603 0.000	11757.965 0.002	13379.197 0.000	-2682.6499 0.001	-1597.8734 0.000	481.11485 0.195	0.74386
Energía E	-5369.2258 0.488	- - -	11101.293 0.001	-65.19097 0.054	-1139.9594 0.000	- - -	0.53230
Tensión media T MED	-24645.232 0.066	- - -	42613.297 0.001	-422.84175 0.058	-9691.5816 0.000	- - -	0.51630
Tensión al riego T RIEG	-8083.1162 0.337	- - -	6947.9034 0.001	-21.499502 0.057	-401.18601 0.000	- - -	0.50199
Humedad aprovecha ble HAP	1265.2287 0.529	144.60361 0.038	1980.8275 0.000	- - -	-55.435124 0.000	- - -	0.49123

\* Nivel de significancia (α)

En las Figuras 4 y 5 del apéndice aparece la expresión gráfica de los modelos en forma de superficie de respuesta.

Optimización del Modelo.

Determinar el régimen de humedad óptimo es conocer el cuándo y cuánto regar óptimamente. Desde el punto de vista de la producción la palabra "optimizar" significa maximizar ganancias o minimizar costos. Se derivan dos procedimientos: optimizar la función de ingreso neto para determinar los niveles de energía a los que hay que someter al cultivo para obtener una mayor ganancia y maximizar la de rendimiento en grano para obtener los correspondientes niveles de energía que signifiquen una mayor producción.

Dadas las características de los modelos descritos anteriormente, únicamente la segunda etapa ( $X_2$ ) presentó puntos críticos detectables por el método de máximos y mínimos; en ambos casos resultaron ser máximos.

Derivando parcialmente  $\frac{\partial R}{\partial X_2}$  y  $\frac{\partial IN}{\partial X_2}$  e igualando cada una a cero se obtiene:

$$\frac{\partial R}{\partial X_2} = 0.73343703 + 2(-0.0766287)X_2 = 0$$

$$X_2 = \frac{-0.73343703}{-2(0.0766287)} = 4.786$$

$$\frac{\partial IN}{\partial X_2} = 11101.293 + 2(-1139.9594)X_2 = 0$$

$$X_2 = \frac{-11101.293}{-2(1139.9594)} = 4.869$$

Los niveles óptimos de energía para la segunda etapa fisiológica y económica resultaron muy semejantes, lo que indica que la restricción impuesta por los costos variables en la determinación de la variable dependiente ingreso neto, fue mínima. Esto se puede apreciar en el Cuadro 12, en el que se presentan los niveles óptimos fisiológicos y económicos para las principales variables independientes obtenidas por el criterio de máximos y mínimos de sus correspondientes modelos.

CUADRO 12. NIVELES OPTIMOS DE LAS PRINCIPALES VARIABLES INDEPENDIENTES Y SU RESPUESTA.

VARIABLE INDEPEN.	OPTIMO FISIOL.		REND. MAX. EN GRANO (ton/ha)	OPTIMO ECON.		MAX. INGRESO NETO (\$/ha)
	1a Etapa	2a Etapa		1a etapa	2a Etapa	
Consumo de Agua	18.1	45.2	2.032	17.6	42.9	18,581.04
Nº riegos	2.7	4.8	2.184	2.6	4.5	20,988.90
Energía <sub>2</sub> (Kcal/m <sup>2</sup> )	- -	4.786	- -	- -	4.869	- -

Para determinar el nivel óptimo de energía o régimen de humedad para la primera etapa, se realizó una búsqueda dentro del rango de variación de ésta, manteniendo constante el nivel óptimo de la segunda (4.869 kcal/m<sup>2</sup>). De acuerdo a la Figura 5 del apéndice se encontró que el menor nivel de energía era el que producía un mayor ingreso neto. O sea, el correspondiente a la aplicación de cuatro riegos (1.726 kcal/m<sup>2</sup>). Sin embargo, se observó que entre este nivel y los correspondientes a la aplicación de dos y tres riegos existía poca diferencia en ingreso neto. Esto señala el bajo producto marginal o la poca pendiente

te de la función en este rango. En el Cuadro 13 se hace un análisis de esta situación.

Considerando que un experimento es solo una muestra mediante la cual se trata de representar a una población, tomando en cuenta la duración de la primera etapa y en base a lo expuesto en el Cuadro 13, se adoptó el nivel de energía correspondiente a la aplicación de dos riegos como el nivel óptimo representativo del régimen de humedad para la primera etapa.

CUADRO 13. NIVELES DE ENERGIA COMPARATIVOS PARA LA PRIMERA ETAPA.

N° DE RIEGOS	NIVEL DE ENERGIA		INGRESO NETO (\$/ha)	INCREMENTO (\$/ha)
	1a. Etapa	2a Etapa		
2	5.413	4.869	19,747.00	- - -
3	2.724	4.869	21,174.00	1,424
4	1.725	4.869	21,463.00	289

En el Cuadro 14 se presentan los niveles óptimos de energía y sus equivalentes en las demás variables estudiadas para el tipo de suelo y condiciones en que se desarrolló el presente experimento.

CUADRO 14. NIVELES OPTIMOS DE REGIMEN DE HUMEDAD EQUIVALENTES.

VARIABLE	PRIMERA ETAPA	SEGUNDA ETAPA
Energía (kcal/m <sup>2</sup> )	5.413	4.896
Tensión media (atm)	2.395	2.234
Tensión al riego (atm)	9.8	8.4
Humedad aprovechable (%)	13.0	15.0

Del Cuadro anterior se puede discutir lo siguiente:

El régimen de humedad para la primera etapa está acorde con lo mencionado en la literatura respecto a posibles castigos en este período del ciclo vegetativo del cultivo. De lo obtenido para la segunda no puede decirse lo mismo debido al término "etapa crítica" con que se describe a este período. Manejando la variable humedad aprovechable por resultar de más fácil comprensión, se aprecia una gran diferencia entre el nivel óptimo obtenido y el máximo ensayado (30%). Las razones por las cuales la producción y el ingreso neto decrecieron a mayores niveles de humedad aprovechable en esta etapa, se deben principalmente a tres factores: al tipo de cultivo, método de riego y a la metodología utilizada.

La variedad empleada es de tipo semiguña, condición que la hace susceptible al exceso de humedad propiciado por la aplicación frecuente de los riegos durante la etapa de fructificación. Esto se traduce en pudrición de vainas dado que gran parte de éstas se encuentran en contacto con la superficie del suelo.

Pensando en superar el problema anterior, la pregunta es cómo aplicar el agua frecuentemente sin que se presenten condiciones adversas. Aquí el método de riego es la limitante y podría pensarse en variantes como aumentar la altura de las camas, disminuir la distancia entre hileras de plantas u otras.

La formación de vainas o fructificación para esta variedad comienza a los 20 días de iniciada la segunda etapa, y de

acuerdo a la metodología utilizada consistente en el espacia miento de los riegos en intervalos de evaporación iguales, - el aplicar 3, 4 y 6 riegos en la segunda etapa significa - - aplicar 1, 2 y 4 riegos en la etapa de fructificación.

#### Programa de Riegos Óptimo.

Uno de los objetivos del presente trabajo es la optimi zación del programa de riegos, lo que significa la determina ción del cuánto y cuándo regar el cultivo del frijol en base a los niveles óptimos del régimen de humedad.

El cuánto y cuándo regar para la primera etapa queda ex plicado por el tratamiento de dos riegos:

NR:	1	2
IR:	0	25
LR:	14	10

Donde:

NR = número de riegos (1a. etapa)

IR = intervalo entre riegos (días)

LR = láminas de riego (cm)

Debido al carácter continuo de las variables independien tes de las funciones de producción es posible que los valores máximos u óptimos representativos del régimen de humedad o -- consumos de agua obtenidos no coincidan con alguno de los ni- veles ensayados. Es necesario por lo tanto, interpol ar entre los dos tratamientos más cercanos para definir el cuánto y -- cuándo regar. Estas interpolaciones son importantes en la me dida del ajuste que representen en la cantidad y oportunidad de los riegos, o al aumento en producción o ingreso neto que

signifiquen.

Considerando dos riegos para la primera etapa, el nivel óptimo del régimen de humedad ( $4.869 \text{ Kcal/m}^2$ ) definido para la segunda, se localiza entre los tratamientos 2-3 y 2-5, entre 3 y cinco riegos. Para determinar la parte correspondiente al cuánto regar del programa de riegos del segundo período, se procedió como sigue:

El valor óptimo de energía mencionado representa un consumo parcial o lámina de riego de 9.2 cm, esto obtenido a partir de la ecuación de energía al determinar el  $Ps_2$  mediante un método iterativo (tanteos). Al multiplicar este valor por 4.5 que corresponde al número de riegos óptimo para la segunda etapa de acuerdo al Cuadro 16, se obtiene una lámina total de agua de 41.4 cm, cifra que se asemeja a los 42.9 cm que representan al consumo de agua óptimo para esta etapa. Aparece la disyuntiva de aplicar cuatro o cinco riegos.

En función de lo anterior y tratando de respetar el régimen de humedad óptimo, el cuánto regar para la segunda etapa se determinó mediante la aplicación de cuatro riegos de 9 cm cada uno.

El siguiente paso es determinar el cuándo aplicar esos cuatro riegos; para esto, se procedió como sigue:

Haciendo una interpolación entre los tratamientos 2-3 y 2-5, se encontró que la duración media de la segunda etapa que correspondería al tratamiento 2-4, fue de 59 días. Durante este tiempo se registró una evaporación total de 440 mm que al dividirlo entre cuatro riegos resultan 110 mm de in--

intervalo entre riegos. Para pasar estos intervalos de evaporación a intervalos en días, se obtuvo el siguiente modelo:

$$E_v = 10.04 D^{0.93}$$

Despejando:

$$D = \left[ \frac{E_v}{10.04} \right]^{1/0.93}$$

$$r = 0.999$$

Donde:

$E_v$  = evaporación registrada acumulada durante la segunda etapa (mm)

$D$  = días transcurridos acumulados en la segunda etapa

$r$  = coeficiente de correlación.

Sustituyendo en forma acumulada el intervalo de evaporación en el modelo anterior, se determinaron por diferencia los intervalos en días correspondientes.

El programa de riegos para la primera y segunda etapa quedó integrado de la siguiente forma:

							<u>TOTAL</u>
NR	1	2	3	4	5	6	6
IR	0	25	24	13	14	16	92
LR	14	8	10	9	9	9	59

Discusión acerca del testigo.

El testigo fue tratado de acuerdo a lo recomendado por el CIAN, con el siguiente calendario de riegos: 0, 25, 24 y 16 días, que correspondieron a láminas de riego de 14, 8, 10 y 9 cm. Corresponde al tratamiento de dos riegos para la prima



mera etapa y aproximadamente dos riegos para la segunda (2-2). Su producción media fue de 1.119 ton/ha y un ingreso neto medio de \$ 5,774.00. Comparándolo con las 2.112 ton y los \$ 19,747.00 de ingreso neto obtenidos por el mejor tratamiento (2-4) de acuerdo a la función de producción, existe una diferencia en rendimiento de 0.993 ton y \$ 13,973.00 en ingreso. De aquí se deriva la importancia de los últimos dos riegos.

El mejor tratamiento analizado en forma individual resultó ser el 2-3, con un rendimiento medio de 2.462 ton/ha y un ingreso neto medio de \$ 26,385.00. Sin embargo, el nivel de tres riegos no pudo afirmarse como un máximo para la segunda etapa en el análisis en conjunto; esto en virtud de que sólo se ensayó una vez de acuerdo a la selección de tratamientos.

#### Análisis Económico 1981-1983 de los tratamientos 2-3, 2-4 y el Testigo

Debido al gran aumento en los costos de producción en los dos años posteriores a la realización del presente trabajo, se hace una comparación de costos y utilidades de los tratamientos 2-3, 2-4 y el testigo; de 1981 contra 1983.

En el Cuadro 15 aparecen los costos del cultivo y utilidades para riego por gravedad (G) y bombeo (B).

CUADRO 15. COMPARACION DE COSTOS Y UTILIDADES EN GRAVEDAD Y BOMBEO.

TRATAMIENTO	1981		1983	
	COSTOS	UTILIDAD	COSTOS*	UTILIDAD
2 - 3	G 11,827	27,565	29,250	27,126
	B 13,007	26,385	32,478	24,148
2 - 4	G 12,544	21,248	29,500	19,326
	B 14,004	19,748	33,589	14,987
Testigo	G 11,390	6,514	29,000	- 3,263
	B 12,130	5,774	30,875	- 5,138

\* Costos actualizados hasta marzo de 1983.

La cuota de riego por gravedad en 1981 era de \$ 900.00 - por hectárea y para bombeo, el costo era de 40 centavos por metro cúbico. Para marzo de 1983 ya habían ascendido a \$ 3,168.00 por hectárea y \$ 1.23 por metro cúbico respectivamente. En ese período los costos de cultivo se incrementaron en un 150% y el precio de garantía sólo se incrementó un 44%; de \$ 16,000 a \$ 23,000.00 por tonelada de grano. Aunque aún no se da a conocer el nuevo precio de garantía para 1983, es de esperarse que este se establezca por encima de los \$ 30,000.00 para que se justifique el incremento en los costos de producción.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los niveles máximos fisiológicos y óptimos económicos representativos del régimen de humedad del suelo, quedan implícitos en las siguientes funciones de producción:

$$R = 0.51089702 + 0.73343703X_2 - 0.0052327365 X_1^2 - 0.0766287X_2^2$$

$$X_1^* = 1.726, X_1^{**} = 5.413, X_2^* = 4.786, R^* = 2.250$$

$$R^{**} = 2.112$$

$$IN = -5369.2258 + 11101.293X_2 - 65.190976X_1^2 - 1139.9594X_2^2$$

$$X_1^* = 1.726, X_1^{**} = 5.413, X_2^* = 4.869, IN^* = 21463, IN^{**} = 19748$$

Donde:

R = rendimiento en grano en ton/ha

IN = ingreso neto en \$/ha

$X_1$  y  $X_2$  = régimen de humedad representado en energía para la primera y segunda etapa (kcal/m<sup>2</sup>)

$X_1^*$  y  $X_2^*$  = niveles de energía que representan un máximo en sus respectivas funciones para la primera y segunda etapa. En el caso de la primera etapa, coincide con el mínimo ensayado, o sea, el correspondiente a la aplicación de cuatro riegos.

$X_1^{**}$  = nivel de energía escogido para la obtención del programa de riegos en la 1a. etapa dada la poca diferencia que representa en rendimiento e ingreso neto con respecto a  $X_1^*$ . Corresponde a la aplicación de dos riegos.

$R^*$  e  $IN^*$  = rendimiento e ingreso neto máximos obtenidos al sustituir en sus respectivas funciones  $X_1^*$  y  $X_2^*$

$R^{**}$  e  $IN^{**}$  = rendimiento e ingreso neto obtenido al reducir de 4 a 2 riegos en la primera etapa, o sea, al sustituir  $X_1^{**}$  por  $X_1^*$ .

El cuándo y cuánto regar el cultivo del frijol en la región de acuerdo a la función de producción, queda definido por el siguiente programa de riegos:

							<u>TOTAL</u>
NR	1	2	3	4	5	6	6
IR	0	25	24	13	14	16	92
LR	14	8	10	9	9	9	59

Donde:

NR = número de riegos

IR = intervalos de riego (días)

LR = láminas de riego (cm)

La restricción impuesta por los costos variables, costo del agua y su aplicación, fue mínima. Es por esto que se observó poca diferencia entre los niveles óptimos fisiológicos y económicos del régimen de humedad. Podría pensarse en la utilización del costo marginal u otro más real que involucre condiciones de carácter operativo y social. Contemplando no sólo al productor como empresa, sino a todo el sistema productivo.

La consideración de etapas fenológicas del cultivo en la definición de los tratamientos, donde el régimen de humedad

del suelo durante cada etapa representa una variable independiente en la función de producción, permite captar la importancia de la aplicación de los riegos en cada período y la posible interacción entre éstos, conduce a un estudio más preciso al considerar las condiciones del cultivo.

La programación de los riegos en base a evaporación tiene las siguientes ventajas:

- Ahorro de trabajo en el muestreo gravimétrico de humedad; sólo se registra la humedad antes del riego.
- Se delimitan rangos de variación de régimen de humedad en base a número de riegos, y se diferencian dentro de estos rangos, niveles de tratamientos.

Sin embargo, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Deben conocerse los principales eventos fenológicos y su duración lo más precisamente posible.
- Se debe contar con datos de evaporación registrados años anteriores (10 años) para que la programación de los riegos sea más confiable.
- La lluvia efectiva entre riegos debe ser mínima para que los tratamientos no sean alterados.

Es recomendable la utilización de metodologías para la determinación del contenido de humedad más dinámicas para estar más acorde al fenómeno del movimiento del agua en el suelo. Que el número de muestras no sea restringido.

En la segunda etapa se detectó mayor respuesta a la aplicación de los riegos. Sin embargo, esta respuesta se vio limitada por la susceptibilidad del cultivo al exceso de humedad

en el período de fructificación. Para disminuir este efecto negativo se sugiere que para siembras en cama a doble hilera, se cierren las hileras de plantas para evitar que las vainas y la planta queden en el fondo del surco.

Analizando individualmente los tratamientos, el mejor resultado ser el 2-3 que correspondió al siguiente programa de riegos:

						<u>TOTAL</u>
NR	1	2	3	4	5	5
IR	0	25	24	18	19	86
LR	14	8	10	10	10	52

El nivel de tres riegos en la segunda etapa no se definió como el mejor en la función de producción, debido a que se ensayó sólo una vez combinado con dos riegos en la primera etapa. Se recomienda la realización de una prueba para diferenciar los tratamientos 2-3 y 2-4.

La susceptibilidad del cultivo del frijol al déficit hídrico en los períodos de formación y llenado del grano, se manifestó por las diferencias en rendimiento entre el testigo (2-2) y los tratamientos 2-3 y 2-4.

Para aplicar tres riegos de auxilio resulta mejor ubicar los de acuerdo a lo sugerido por Flores y Alvarado (5): El primer auxilio a los 36 días de la siembra; aproximadamente a 44 días del riego de presiembra. El segundo y tercero a intervalos de 19 días del primero y segundo auxilios respectivamente.

## BIBLIOGRAFIA

1. AGUILERA C., M. y MARTINEZ E., R. 1980. Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. 2a. edición, Chapingo, México. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 72-95.
2. AGUIRRE L., O. 1975. Guía Climática de la Comarca Lagunera. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte, Matamoros, Coahuila, México. 45 p. (Seminario Técnico N° 9).
3. COCHRAN, G.W. y COX, M.G. 1974. Diseños Experimentales. México, Trillas. p. 120-160.
4. ESCOBAR A., M. 1978. Retención de Agua por el Suelo. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego, Gómez Palacio, Durango, México. 35 p.
5. FLORES L., F. y ALVARADO, D. 1974. Calendario de Riego del Frijol en siembra de primavera en la Comarca Lagunera. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte, Matamoros, Coahuila, México. 35 p.
6. HADLEY, G. 1969. Algebra Lineal. Traducción de la 1a. edición en inglés por José D. Arias Páez. Bogotá, Colombia. Fondo Educativo Interamericano. p. 1-4.
7. HORNER, G.M. y MOJTEHEDI, M. 1979. Yield of Grain Legumes as affected for irrigation and fertilizar regimes. Agronomy Journal. Vol. 62: (449-450).
8. IBARRA A, R. 1981. Diagnóstico del Uso de los Recursos en Sistemas de Producción, a través de Funciones de Producción. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 20 p. (Boletín Técnico N° 26).
9. MARTINEZ G., A. 1971. Aspectos Económicos del Diseño y Análisis de Experimentos. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. p. 23-30.
10. \_\_\_\_\_ 1974. Teoría de la Regresión y sus Aplicaciones Econométricas. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. p. 51-64.
11. Matamoros, Coahuila, México. 1977. Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte. Guía para la Asistencia Técnica Agrícola. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. p. 39-45.

12. \_\_\_\_\_ 1977. *La Regresión y su Interpretación*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 13 p. (Seminario Técnico N° 16).
13. \_\_\_\_\_ 1981. *Logros y Aportaciones de la Investigación Agrícola en la Región Lagunera*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. p. 27-30.
14. Mc MASTER, G.N. et al. 1965. *The Influence of Soil Moisture on Snap Bean Seed Production*. Bull. Idaho Agric. Exp. Stat. 435.
15. MERAZ M., J. 1978. *Respuesta Fenológica del Cultivo del Frijol bajo Diferentes Niveles de Humedad Aprovechable en el Suelo al Momento del Riego*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego. Gómez Palacio, Durango, México. 40 p.
16. MOJARRO D., F. 1977. *Efecto de la Sequía sobre el Rendimiento del Frijol*. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. 141 p.
17. MORENO D., L. 1979. *Obtención de una Función de Producción del Frijol en base a Regímenes Variables de Humedad del suelo*. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. 120 p.
18. PALACIOS V., E. 1977. *Introducción a la Teoría de la Operación de Distritos y Sistemas de Riego*. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. p. 338-356.
19. \_\_\_\_\_ 1978. *Respuesta de los Cultivos a Diferentes Niveles de Humedad del Suelo*. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. 149 p.
20. RAMIREZ C., J. 1969. *Características Generales de las Series de Suelos en la Región Lagunera*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Distrito de Riego N° 017, Lerdo, Durango. p. 3-5.
21. RICHARDS, L.A. et al. 1977. *Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Trad. de la 1a. edición en inglés por Nicolás Sánchez, Enrique Ortega, Rodolfo Vera y Rodolfo Chena. 6a edición. México, Limusa. p. 7-35.
22. ROBINS, J.S. y DOMINGO, C.E. 1956. *Moisture Deficits in Relation to the Growth and Development of Dry Beans*. Agronomy Journal 48: (67-70).



23. Sahuayo, Michoacán, México. 1975. Niveles de Humedad y Sistemas de Siembra en el Cultivo del Frijol. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Distrito de Riego N° 24, Resultados de Experimentación. 11 p.
24. SALTER, P.J. y GOODE, J.E. 1967. Crop Responses to Water at Different Stages of Growth. Common Wealth Agricultural. p. 246.
25. STOKER, R. 1973. Effect on Dwarf Beans of Water Stress at Different phases of Growth. N.Z. Journal of Experimental Agriculture 2: (5-13).
26. Torreón, Coahuila, México. 1981. Costos de Producción de los principales Cultivos, ciclo agrícola Verano 1981 en la Región Lagunera. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 45 p.
27. Zacatecas, Zacatecas, México. 1975. Resultados del Experimento de Niveles de Humedad en el Cultivo del Frijol. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Distrito de Riego N° 034, Resultados de Experimentación. 43 p.

A P E N D I C E

CUADRO 1. CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO.

CARACTERISTICA	P R O F U N D I D A D		
	0-30	30-60	60-90
Arena (%)	41	40	37
Limo (%)	30	32	33
Arcilla (%)	29	28	30
Textura	Mig. Arc.	Mig. Arc.	Mig. Arc.
CC (%)	31.2	28.6	27.7
PMP (%)	17.2	15.4	15.4
SAT (%)	58.7	57.5	54.6
Da (gr/cm <sup>3</sup> )	1.30	1.33	1.27

CUADRO 2. CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL SUELO.

CARACTERISTICA	P R O F U N D I D A D		
	0-30	30-60	60-90
pH	7.2	7.2	7.2
Mat. Org. (%)	1.01	0.55	0.31
C.E. (mmhos/cm)	3.2	3.2	3.0
P.S.I.	0.66	0.54	1.61
CO <sub>3</sub> (meq/lt)	7.7	9.2	8.9
HCO <sub>3</sub> (meq/lt)	1.5	1.7	1.7
SO <sub>4</sub> (meq/lt)	26.3	25.6	20.7
Cl (meq/lt)	4.5	5.5	9.0
Ca (meq/lt)	24.4	23.2	19.8
Mg (meq/lt)	4.4	4.6	4.2
Na (meq/lt)	3.4	4.4	6.8

CUADRO 3. CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA DE RIEGO.

C A R A C T E R I S T I C A	VALOR
pH	7.53
Conductividad eléctrica [mmhos/cm]	0.225
Ca [meq/lt]	0.80
Mg [meq/lt]	1.20
Na [meq/lt]	0.64
K [meq/lt]	0.02
<u>CATIONES</u> [meq/lt]	2.66
CO <sub>3</sub> [meq/lt]	0.00
HCO <sub>3</sub> [meq/lt]	1.82
Cl [meq/lt]	0.33
SO <sub>4</sub> [meq/lt]	0.65
<u>ANIONES</u> [meq/lt]	2.80
SE [meq/lt]	0.84
SP [meq/lt]	0.66
CSR [meq/lt]	0.00
RAS	0.64
PSP (%)	76.19
Boro [meq/lt]	0.07478
Arsénico [mg/lt]	0.005

CUADRO 4. COSTO DE CULTIVO POR HECTAREA Y PRECIO DE GARANTIA.

A C T I V I D A D	COSTO (\$)
<u>COSTOS FIJOS:</u>	
Permiso de siembra	30.00
Barbecho	620.00
Rastreo	300.00
Empareje	200.00
Trazo de riego	150.00
Bordeo	400.00
Construcción de regaderas	450.00
Pega de bordos	340.00
Rastreo en húmedo	350.00
Semilla (40 kg)	1,440.00
Fertilizante (40-40-0)	622.00
Siembra y fertilización	400.00
Cultivos (2)	600.00
Deshierbes (2)	1,020.00
Reparación de bordos (2)	170.00
Limpia de regaderas (2)	340.00
Insecticidas	450.00
Aplicaciones (2)	500.00
Servicio entomológico	50.00
Corte	510.00
Trilla	540.00
T O T A L:	9,492.00
<u>COSTOS VARIABLES:</u>	
Costo del m <sup>3</sup> de agua	0.40
Costo de aplicación/riego	170.00
Acarreo de grano (ton)	200.00
Precio de Garantía: \$ 16,000.00 por tonelada de grano.	

CUADRO 5. DATOS CLIMATOLÓGICOS REGISTRADOS DURANTE EL CICLO VEGETATIVO DEL CULTIVO.

DÍA	FECHA	T. MAX.	T. MIN.	T. MED.	Ev.	PP
		°C	°C	°C	(mm)	(mm)
1	26-06-81	31	19.5	25.2	8.12	0.0
2	27-07-81	31	20	25.5	10.01	0.0
3	28-06-81	32	19	25.5	10.63	0.0
4	29-06-81	34	19	26.5	12.72	0.0
5	30-06-81	33	21	27	11.05	0.0
6	1-07-81	33	18	30.5	10.77	0.0
7	2-07-81	33	19	26	10.93	0.0
8	3-07-81	34	19	26.5	9.68	0.0
9	4-07-81	35	19	27	12.37	0.0
10	5-07-81	35	19	27	10.00	1.2
11	6-07-81	33	20	26.5	10.82	0.0
12	7-07-81	34	19.5	26.7	10.42	0.0
13	8-07-81	35	20	27.5	13.15	0.0
14	9-07-81	34	17	25.5	6.91	1.2
15	10-07-81	32	19.5	25.7	13.11	0.0
16	11-07-81	34	19	26.5	11.49	0.0
17	12-07-81	33	21	27	11.07	0.0
18	13-07-81	34	21	27.5	10.89	0.0
19	14-07-81	34	19	26.5	10.62	0.0
20	15-07-81	35	22	28.5	13.51	0.0
21	16-07-81	33	18	25.5	9.28	0.0
22	17-07-81	34	17.5	25.7	10.23	0.0
23	18-07-81	33	17	25	9.00	0.0
24	29-07-81	34	21	27.5	11.15	0.0
25	20-07-81	35	18	26.5	9.99	0.0
26	21-07-81	34	19	26.5	8.67	0.0
27	22-07-81	34	19.5	26.7	10.34	0.0
28	23-07-81	34	18.5	26.2	10.26	0.0
29	24-07-81	34	18	26	12.70	0.0
30	25-07-81	33	18.5	25.7	10.63	0.0
31	26-07-81	33	20	26.5	9.69	0.0
32	27-07-81	32	20	26	6.71	1.2
33	28-07-81	33	19	26	7.60	0.0
34	29-07-81	33	19.5	26.2	9.59	3.3
35	30-07-81	34	18	26	8.28	0.0
36	31-07-81	35	19	27	7.40	0.0
37	1-08-81	24	20	22	10.85	0.0
38	2-08-81	34	18	26.2	10.49	0.0
39	3-08-81	35	21	28	10.26	0.0
40	4-08-81	35	19	27	12.52	0.0
41	5-08-81	34	21	27.5	9.86	Inaprec.
42	6-08-81	33.5	20.5	27.5	9.23	0.0
43	7-08-81	33.5	20	26.7	10.07	0.0
44	8-08-81	33	18	25.5	9.47	0.0
45	9-08-81	32.5	19	25.7	8.56	0.0
46	10-08-81	33	20	26.5	11.18	0.0
47	11-08-81	33	18	25.5	8.41	0.0

DIA	FECHA	T. MAX.	T. MIN	T. MED.	Ev.	PP
		°C	°C	°C	(mm)	(mm)
48	12-08-81	33	20	26.5	8.02	0.0
49	13-08-81	32.5	20	26.2	9.60	0.8
50	14-08-81	32	20	26	7.20	Inaprec.
51	15-08-81	31	19	25	4.95	0.0
52	16-08-81	33	21	27	9.00	0.0
53	17-08-81	32	20	26	7.37	0.0
54	18-08-81	30.5	20	25.2	8.17	3.9
55	19-08-81	31	19	25	8.02	0.0
56	20-08-81	31	18	24.5	7.40	0.7
57	21-08-81	30	18	24	7.01	0.0
58	22-08-81	31.5	17	24.2	8.10	0.0
59	23-08-81	32	17	24.5	8.86	0.0
60	24-08-81	31	19	25	8.39	0.0
61	25-08-81	31	18	24.5	8.59	0.0
62	26-08-81	32	17	24.5	8.37	0.0
63	27-08-81	31	18	24.5	10.83	0.0
64	28-08-81	30	19	24.5	8.88	0.0
65	29-08-81	30	10.5	20.2	8.00	0.0
66	30-08-81	32	18	25	8.14	0.0
67	31-08-81	35	21	28	6.61	0.8
68	1-09-81	34	20	27	9.34	7.8
69	2-09-81	31	18	24.5	4.84	1.5
70	3-09-81	29	18	23.5	4.50	1.7
71	4-09-81	31	17	24	6.92	0.2
72	5-09-81	30	18	24	3.79	0.0
73	6-09-81	31	18	24.5	6.85	0.0
74	7-09-81	32	18	25	7.81	0.0
75	8-09-81	31	17	24	9.09	0.0
76	9-09-81	31	16	23.5	7.25	0.0
77	10-09-81	32	18	25	8.03	0.0
78	11-09-81	33	19	26	6.54	0.0
79	12-09-81	32	19	25.5	8.49	0.0
80	13-09-81	31	19	25	6.06	0.0
81	14-09-81	32	18	25	6.88	0.6
82	15-09-81	32	18	25	7.56	0.0
83	16-09-81	30	19	24.5	9.50	0.0
84	17-09-81	26	11	18.5	6.40	0.0
85	18-09-81	26	10	31	6.65	0.0
86	19-09-81	28	15	21.5	5.75	0.0
87	20-09-81	31	21	26	6.53	0.0
88	21-09-81	27.5	15.5	21.5	5.83	0.0
89	22-09-81	29	16	22.5	7.72	0.0
90	23-09-81	34	16	25	7.95	0.0
91	24-09-81	33	17	25	6.85	0.0
92	25-09-81	33	15	24	7.96	0.0
93	26-09-81	33	15	24	8.72	0.0
94	27-09-81	31	14	22.5	8.46	0.0
95	28-09-81	30	15.5	22.5	8.46	0.0
96	29-09-81	30	16	23	6.47	0.0
97	30-09-81	32	18	25	6.75	0.0

DIA	FECHA	T. MAX.	T. MIN	T. MED.	Ev.	PP
		°C	°C	°C	[mm]	[mm]
98	1-10-81	31	18	24.5	6.63	5.1
99	2-10-81	30	16	23	4.81	0.0
100	3-10-81	32	17	24.5	7.50	Inaprec.
101	4-10-81	31	17	24	6.54	0.0
102	5-10-81	32	19	25.5	7.50	Inaprec.
103	6-10-81	28	17	22.5	6.26	14.4
104	7-10-81	27	17	22	4.17	Inaprec.
105	8-10-81	32	15	23.5	7.11	0.0
106	9-10-81	30	15	22.5	5.37	0.0
107	10-10-81	33	18	25.5	5.80	0.0
108	11-10-81	31	17	24	4.82	8.8
109	12-10-81	28	14	21	4.81	14.6
110	13-10-81	29	13	21	4.94	0.0
111	14-10-81	32	16	24	5.0	0.0



CUADRO 6. ANALISIS DE VARIANZA DE BLOQUES AL AZAR PARA LA VA  
RIEBLE RENDIMIENTO EN GRANO EN ton/ha.

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F	NIVEL DE SIGNIFIC.	
Bloques	2	0.055	0.027	0.788	0.999	NS
Tratamientos	15	15.082	1.005	29.003	0.001	**
Error	30	1.040	0.035			
Total	47	16.177	0.344			

Cv = 12.9%

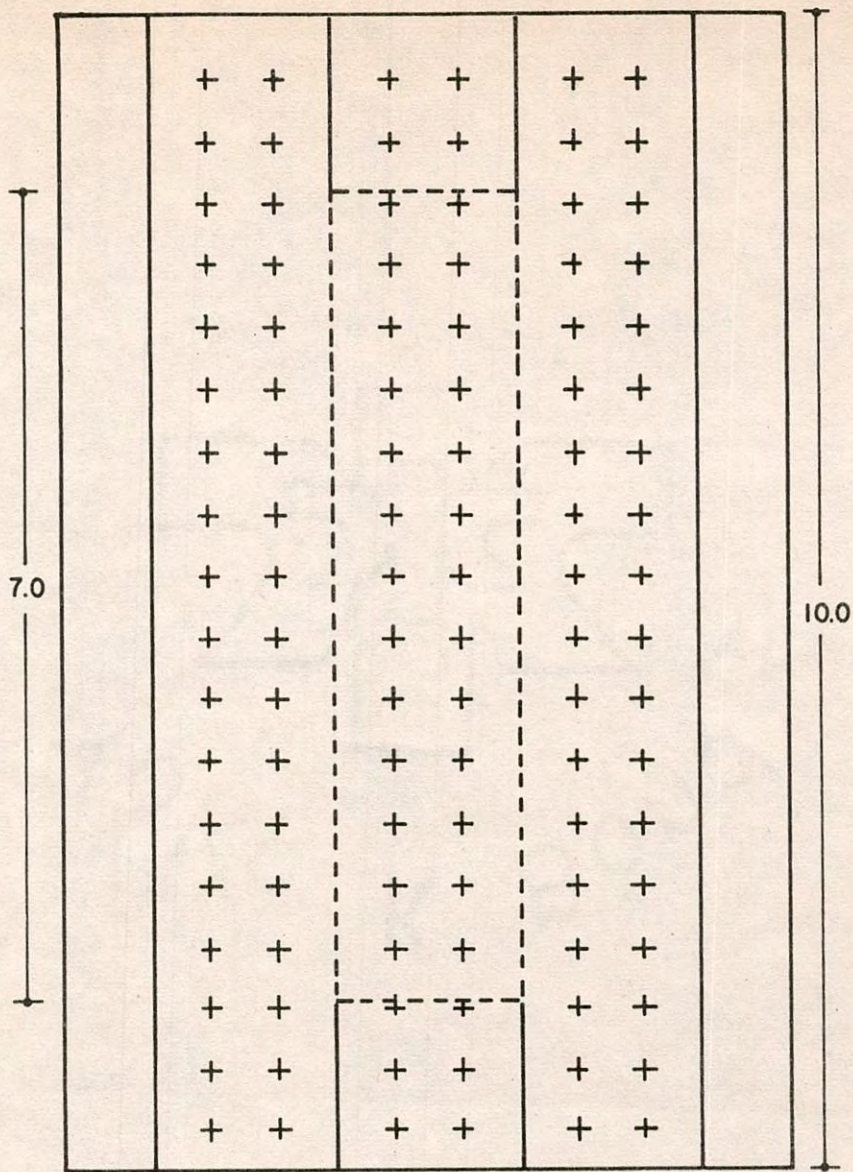
CUADRO 7. ANALISIS DE VARIANZA DE BLOQUES AL AZAR PARA LA VA  
RIEBLE INGRESO NETO (\$/ha).

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F	NIVEL DE SIGNIFIC.	
Bloques	2	13644974.04	6822487.02	0.788	0.999	NS
Tratamientos	15	3151352616.31	210090174.42	24.275	0.001	**
Error	30	259638232.63	8654607.75			
Total	47	3424635822.98	72864591.98			

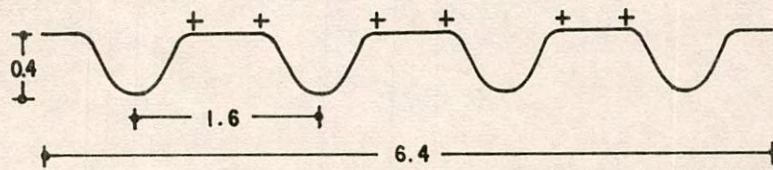
Cv = 28.9%

NS = no significativo

\*\* = altamente significativo



PLANTA



FRENTE

+ HILERA DE PLANTAS  
 ---- PARCELA UTIL  
 ACOTACION EN (m)

Figura 1 Detalle de la parcela experimental

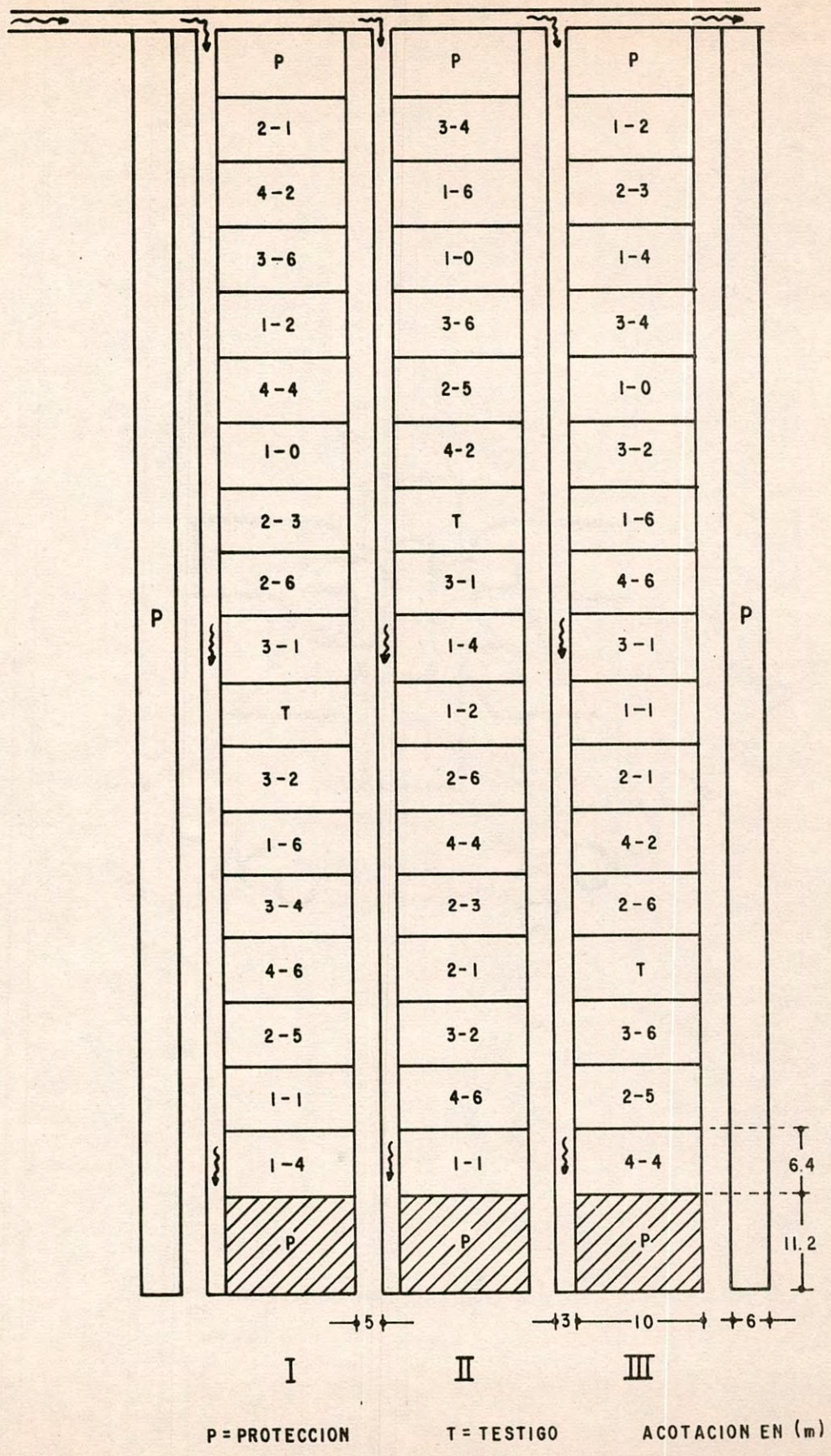


Figura 2 Distribucion de los tratamientos en campo

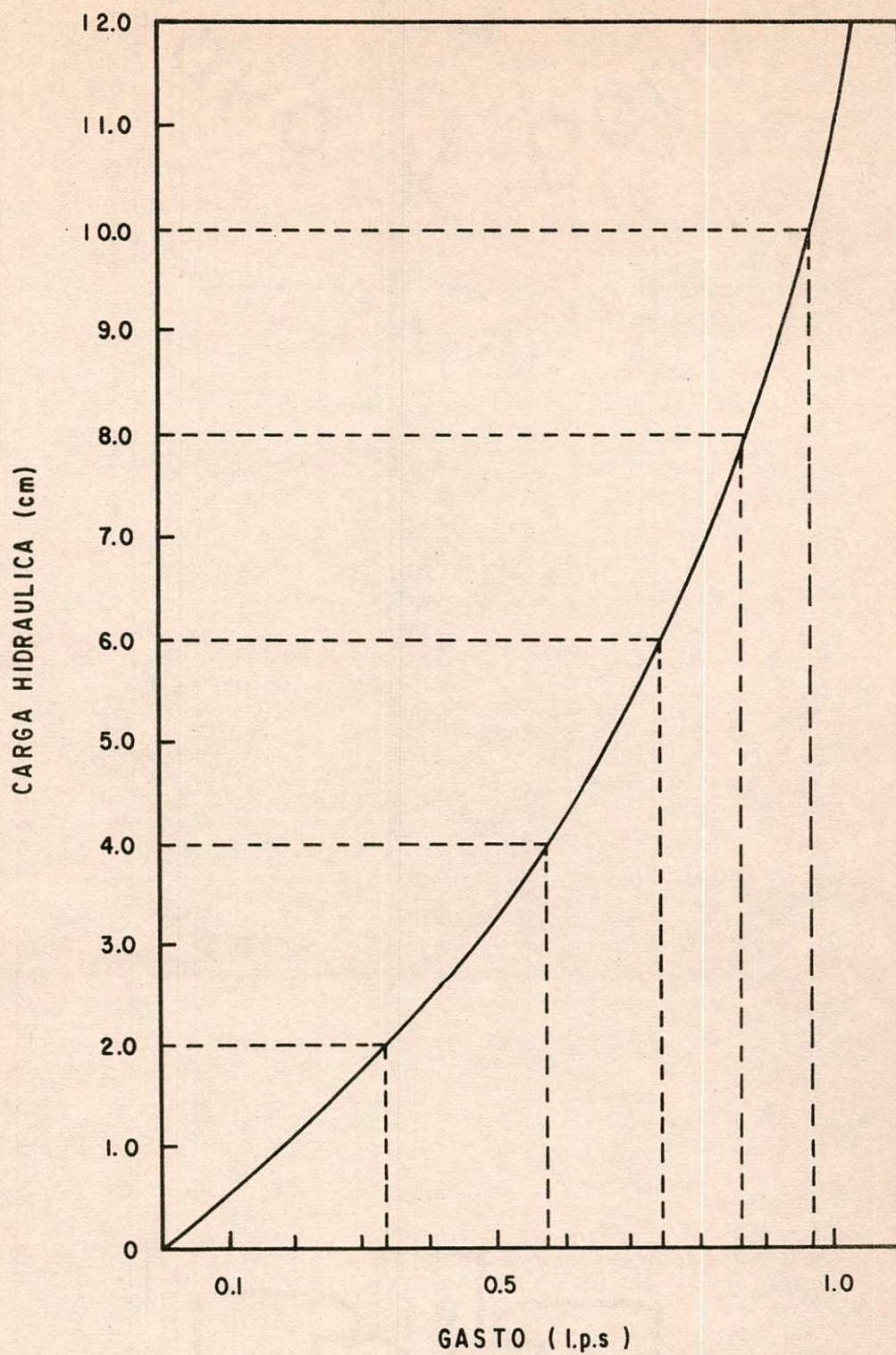
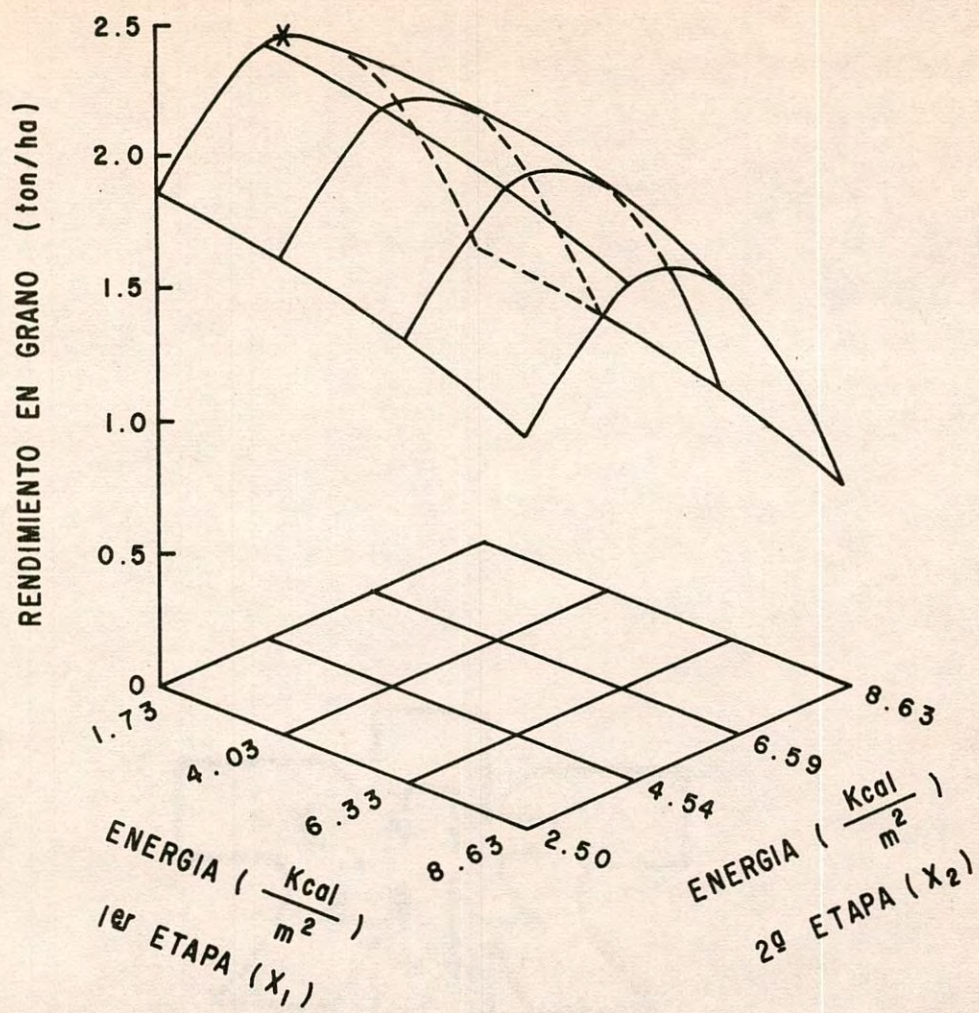


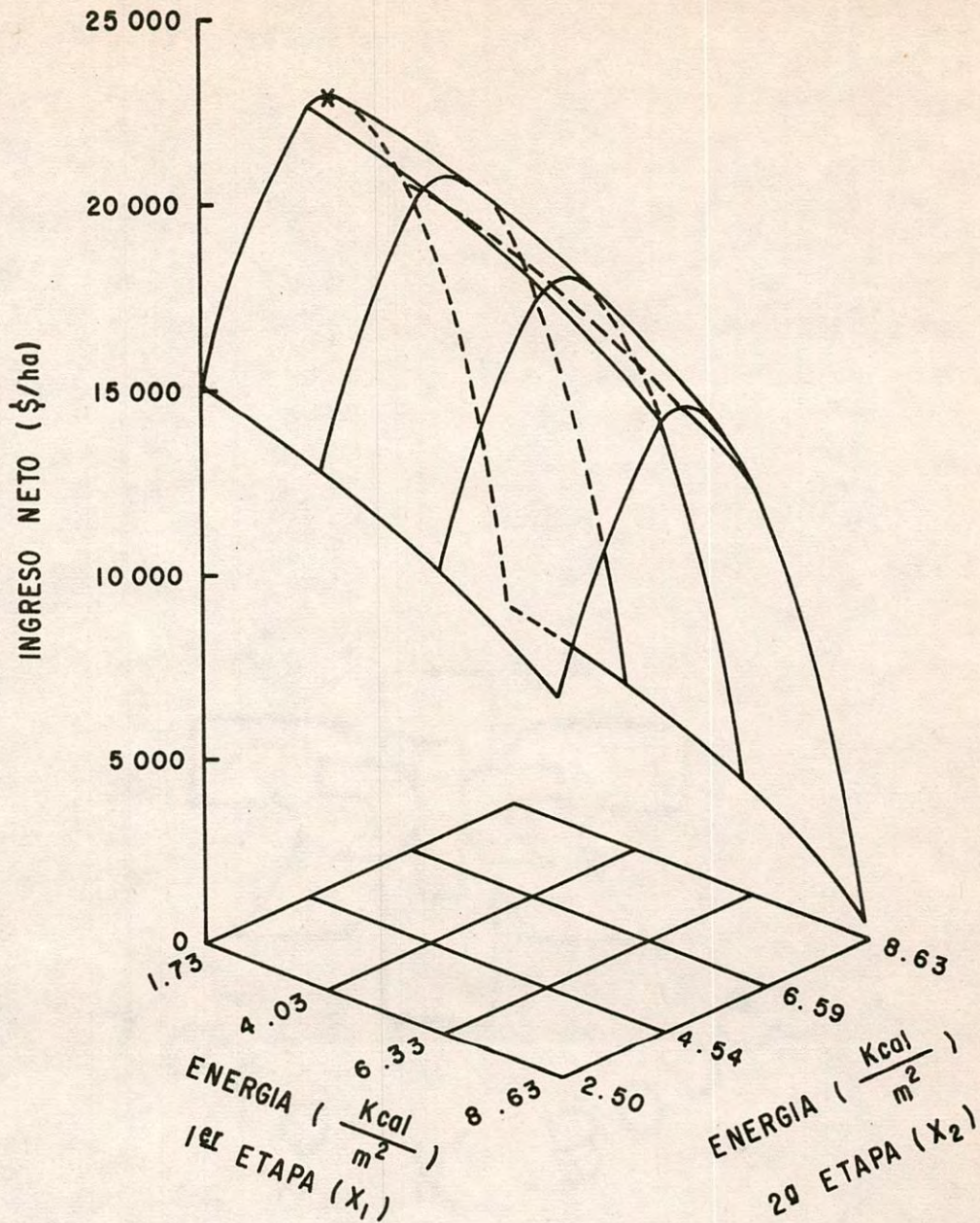
Figura 3 Curva carga hidráulica – gasto para sifones de aluminio de  $1 \frac{3}{8}$  de diámetro.



$$R = 0.51089702 + 0.73343703 X_2 - 0.0052327365 X_1^2 - 0.0766287 X_2^2$$

$$X_1^* = 1.73 \quad X_2^* = 4.79 \quad R^* = 2.250 \quad R^2 = 0.58$$

Figura 4 Superficie de respuesta de la función rendimiento en grano - régimen de humedad.



$$IN = -5369.2258 + 11101.293 X_2 - 65.190976 X_1^2 - 1139.9594 X_2^2$$

$$X_1^* = 1.73 \quad X_2^* = 4.88 \quad IN^* = 21,463 \quad R^2 = 0.52$$

Figura 5 Superficie de respuesta de la función ingreso neto — régimen de humedad.