

" PROGRAMA DE RIEGOS Y FUNCION DE PRODUCCION EN EL CULTIVO DEL CARTAMO
(Carthamus tinctorius L.)"

TESIS

Sometida a la consideración de la Escuela
de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Marco Antonio Inzunza Ibarra

Como requisito parcial para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo con espe-
cialidad en Irrigación.

Mayo de 1983

Universidad de Sonora

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

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 PANO

CONSEJERO:

P.A. M.C. CARLOS HERNANDEZ YAÑEZ

CONSEJERO:

ING. MARCO ANTONIO HUEZ LOPEZ

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 C. Silvia Mayela Ibarra Blanco por su paciencia y dedicación en la elaboración del trabajo de mecanografía.

Este agradecimiento se hace extensivo a todas las personas - que en diferente forma colaboraron en el desarrollo de este trabajo de tesis.

DEDICATORIA

A la memoria de mi Padre

Alejandro

A mi Madre

María Estela con amor y respeto

A mis Hermanos

Efraín, Adrián, Gloria Estela, Alejandro, María Isabel
y Miriam Dalila con cariño.

A mis Tíos

Ramón, Ofelia y Gloria por su apoyo para la realización
de mis estudios.

CONTENIDO

	página
INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
REVISION DE LITERATURA	3
MATERIALES Y METODOS	15
Localización del lugar	15
Clima del lugar	15
Suelos e hidrografía	16
Localización del sitio experimental	17
Datos climatológicos presentados durante el desarrollo del experimento	17
Análisis físico y químico del suelo del lote experimental	17
Determinaciones físicas del suelo	17
Determinaciones químicas del suelo	20
Características del agua	21
Metodología empleada	22
Diseño estadístico	22
Variables analizadas	27
Secuencia del análisis	29
Labores agronómicas	29
Control y medida del régimen de humedad del suelo	31
RESULTADOS Y DISCUSION	38
Comportamiento fenológico del cultivo	38

Datos climatológicos observados	41
Análisis del régimen de humedad del suelo	42
Variables de respuesta	43
Procedimiento de análisis	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
LITERATURA CITADA	61
APENDICE	67

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Ecuaciones de las curvas de tensión de humedad del suelo	19
2	Tratamientos resultantes	25
3	Programación de los riegos en base a evaporación . . .	26
4	No. de capítulos, No. de ramificaciones y altura promedio por planta de los diferentes tratamientos	39
5	Ubicación de los riegos para cada tratamiento ensayado de acuerdo a las principales etapas fenológicas del cártamo.	40
6	Variabes independientes para cada tratamiento, resultantes del régimen de humedad del suelo	42
7	Variable respuesta rendimiento en grano	45
8	Variable respuesta ingreso neto	45
9	Modelos resultantes para las variables respuesta rendimiento en grano e ingreso neto	48
10	Niveles óptimos fisiológicos para rendimiento en grano	52
11	Niveles óptimos económicos para ingreso neto	52
12	Comparación en su respuesta de niveles del régimen de humedad para la primer etapa.	53
13	Óptimos económicos resultantes como más convenientes para la determinación del programa de riegos	54

INDICE DEL APENDICE

Cuadro

- 1 Estadísticas del cártamo a nivel Nacional
- 2 Estadísticas del cártamo para la Comarca Lagunera
- 3 Datos climatológicos promedio registrados durante el experimento.
- 4 Determinaciones Físicas del Suelo
- 5 Determinaciones Químicas del suelo
- 6 Características químicas del agua de riego
- 7 Costo de producción por hectárea del cártamo para el ciclo agrícola 1982
- 8 Datos climatológicos observados durante el ciclo vegetativo del cultivo de cártamo
- 9 Láminas aplicadas, intervalos y evaporación entre riegos para la primer y segunda etapa.
- 10 Análisis de varianza para rendimiento en grano
- 11 Análisis de varianza para ingreso neto

Figura

- 1 Curva de tensión de humedad del suelo en el lote experimental a la profundidad de 0-30 cm
- 2 Curva de tensión de humedad del suelo en el lote experimental a la profundidad de 30-60 cm
- 3 Curva de tensión de humedad del suelo en el lote experimental a la profundidad de 60-90 cm

- 4 Infiltración del agua en el suelo
- 5 Cuadrado doble y selección de tratamientos
- 6 Distribución y trazo de los tratamientos en el campo
- 7 Detalle de la parcela experimental
- 8 Control de la carga hidráulica
- 9 Calibración de sifones
- 10 Curva carga hidráulica - gasto para sifones de aluminio de 1" de diámetro
- 11 Medición de la carga hidráulica
- 12 Rendimiento en grano
- 13 Ingreso neto
- 14 Superficie de respuesta de la función rendimiento en grano-tensión al riego
- 15 Superficie de respuesta de la función rendimiento en grano-consumo de agua
- 16 Superficie de respuesta de la función rendimiento en grano-número de riegos
- 17 Superficie de respuesta de la función ingreso neto- tensión al riego.
- 18 Superficie de respuesta de la función ingreso neto- consumo de agua.
- 19 Superficie de respuesta de la función ingreso neto-número de riegos.

RESUMEN

En la República Mexicana la producción actual de aceite comestible de origen vegetal no satisface las demandas. El cultivo del cártamo es de gran importancia para superar este déficit de aceite comestible ya que se desarrolla óptimamente en climas áridos y semiáridos que representan un 94% del territorio nacional.

En la Región Lagunera se siembran en promedio 7 400 ha de las cuales el 49% se riega con agua extraída del subsuelo y el 51% restante de medio riego y temporal. En esta región no se explota al máximo el potencial del cártamo debido a su deficiente manejo, particularmente en lo que se refiere a sus necesidades hídricas en cantidad y oportunidad.

Por lo anterior se realizó el presente trabajo en el campo experimental del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR) durante el ciclo agrícola Invierno de 1981-1982.

El objetivo principal del estudio fue la obtención de una función de producción que relacione la producción del cártamo con el régimen de humedad del suelo en dos etapas fenológicas del cultivo. En base a dicha función, generar un programa de riego óptimo; las etapas fenológicas consideradas fueron de siembra a inicio de formación de capítulos y de ésta a 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 uno a cinco y de cero a cuatro riegos para la primera y segunda etapa respectivamente.

El diseño estadístico fue bloques al azar con cuatro repeticiones y como diseño de tratamientos el factorial incompleto cuadrado doble.

El régimen de humedad del suelo fue representado por tres variables independientes. Cada uno de ellos se relacionó con las variables respuesta rendimiento en grano e ingreso neto mediante la técnica de la regresión múltiple para el ajuste al modelo polinomial cuadrático propuesto; se definió la variable tensión al riego como más representativa del régimen de humedad del suelo. Con las funciones de producción resultantes para rendimiento en grano e ingreso neto se definieron los valores óptimos fisiológicos y económicos respectivamente. En base a estos valores se encontró como tratamiento óptimo la aplicación de tres riegos en la primer etapa y dos en la segunda. El consumo de agua óptimo por el cártamo fue de 31 y 27 cm para la primera y segunda etapa respectivamente.

La primer etapa se detectó una mayor respuesta del cártamo a la aplicación del agua de riego que en la segunda.

INTRODUCCION

El cártamo es el cultivo que ha tenido en su desarrollo mayor celeridad y variantes. Su explotación intensiva es relativamente reciente en el mundo, y lo es más en México, donde se introdujo en 1940 al Bajío y desde 1950 hacia las actuales áreas de cultivo.

El cártamo, como planta oleaginosa, presenta innumerables ventajas ; su semilla contiene un alto porcentaje de aceite de alta calidad, tanto para consumo humano como para uso industrial. En la alimentación tiene gran demanda por su alto contenido de ácido linoléico y polinsaturado, lo que le confiere la propiedad de liberar poco colesterol. La planta presenta características especiales de cultivo, pues se adapta bien a zonas semiáridas, con precipitaciones escasas y en estado de plántula resiste temperaturas bajas, logrando con esto prosperar en regiones con inviernos benignos.

Actualmente los aceites comestibles de origen vegetal en el País, - provienen principalmente de las semillas del cártamo, ajonjolí, girasol, algodón y en escala menor olivo; sin embargo, la producción de aceite de estas plantas no abastece completamente las necesidades actuales del País, existiendo un déficit de aceite comestible que obliga a importar - muchas toneladas anualmente.

Es factible que con el cártamo se pudiera resolver este problema ya que su cultivo se adapta a condiciones del clima semiárido que domina en la mayor parte de la República Mexicana.

En el Cuadro 1 del apéndice muestra las estadísticas del cártamo a nivel Nacional, las cuales indican que los incrementos nacionales en superficie cosechada para este cultivo de 1970 a 1979 fueron de 175,000 a

523,000 has; la producción fluctuó de 288,000 a 629,000 ton. producidas en semilla apróximadamente. Estos datos representan un incremento de 200 % en las superficies cosechadas y de 120 % en producción de semilla.

Las referencias expuestas colocan al cártamo como un cultivo de gran importancia nacional. Lo anterior debido a que es un cultivo que como ya se mencionó se adapta a condiciones moderadas de sequía, a diferentes tipos de suelos, es tolerante a la salinidad y por ser un cultivo mecanizado, circunstancia que permite ocupar grandes áreas en las zonas productoras; además tiene bajo costo de producción por hectárea y buen precio en un mercado cada día más amplio.

En la Comarca Lagunera se siembran en promedio 7 400 ha de las cuales, el 49% se riegan con agua de bombeo y el 51 % restante de medio riego y temporal, sin embargo como se observa en el Cuadro 2 del apéndice existe una variabilidad en el área sembrada siendo la mínima de 3 210 ha y llegando la máxima a 12 111 ha considerando un período de 10 años.

El potencial de rendimiento de las variedades recomendadas en la Región es superior a las 3.0 ton/ha, el cual no es explotado al máximo debido al deficiente manejo del cultivo, particularmente en lo que se refiere a la aplicación del agua de riego.

En base a lo expuesto se concluye que el cártamo es un cultivo de gran importancia, tanto a nivel nacional como regional por lo que es ampliamente justificable la realización de investigaciones que tengan como fin optimizar la producción de este cultivo en función del riego o, lo que es lo mismo, la obtención del máximo rendimiento por unidad de agua utilizada.

Tomando en consideración lo anterior se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar la función de producción
- La obtención del programa de riego óptimo.

REVISION DE LITERATURA

Robles en 1980 señaló la siguiente clasificación taxonómica para el cultivo del cártamo:

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Subdivisión	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Familia	Compositae
Subfamilia	Carduceae
Tribu	Cynereae
Género	Carthamus
Especie	<i>tinctorius</i> L. (31)

Sánchez indicó en 1979 que el cultivo del cártamo se adapta a climas templados o cálidos pero secos, se puede cultivar a alturas óptimas de - 900 msnm, reduciendo su rendimiento cuando se cultiva a mayores alturas - debido a las bajas temperaturas que impiden su desarrollo vegetativo normal.

La semilla puede germinar a temperaturas mínimas de 4°C; resiste - las heladas en sus primeras fases de desarrollo llegando a soportar entre -5°C a -6°C.

Cuando el cultivo alcanza la etapa de floración, temperaturas míni_ mas de 1°C perjudican, por otra parte, cuando hay temperaturas mayores - de 40 a 46°C y no se dispone de agua en el suelo, la planta se deshidra_ ta.

El cártamo obtiene los más altos rendimientos en suelos francos, pro

fundos y con buen drenaje superficial e interno, pH de 7 a 8; sin embargo, puede crecer y producir en diferentes tipos de suelos. En los suelos sueltos, la raíz profundiza bastante hasta encontrar la humedad. Esta situación se puede dar en siembras de temporal hechas en los márgenes de los ríos, donde sólo se dá el riego de presembrado.

En terrenos muy arcillosos donde el agua drena muy lentamente, es preferible hacer siembra de riego para poder controlar la humedad y prevenir enfermedades (32).

Palacios y Martínez en 1978 mencionaron un trabajo realizado por Seydlitz en Polonia bajo condiciones de Invernadero, los resultados obtenidos muestran el efecto del déficit hídrico del suelo en cada una de las etapas del desarrollo vegetativo del cultivo del cártamo y su repercusión en el rendimiento de semilla y su contenido de aceite. Las conclusiones obtenidas señalan que la etapa más crítica a deficiencias de humedad en el suelo es del inicio de floración hasta su finalización. Este déficit causa reducción en el rendimiento de la semilla y en su contenido de aceite.

Las evaluaciones realizadas mostraron que las condiciones de sequía prevalecientes entre emergencia y formación de roseta no tuvieron ningún efecto adverso ni sobre el crecimiento ni sobre el rendimiento de esta planta, sin embargo, la escasez de humedad durante el período normal de máximo rendimiento, por ejemplo desde la formación de roseta hasta la floración, causó una reducción marcada en el crecimiento y prolongó el período de este. La escasez de agua durante la floración y la maduración redujo marcadamente el rendimiento en semilla, el contenido de aceite y acortó el período de crecimiento (24).

Obeso señaló en 1978 que existen tres períodos críticos en el uso del agua de riego para el cultivo del cártamo y son:

De 45 a 50 días después de la siembra al inicio de ramificación, de los 70 a 75 días en el inicio de formación de capítulos, de los 90 a 100 días poco antes del inicio de la floración. Cuando el cártamo empieza a ramificar y existe una deficiencia de humedad en el suelo, la planta se desarrolla en forma raquílica y con ramificación deficiente, produciendo plantas "ajarilladas", lo que ocasiona una notable reducción del rendimiento de la planta; cuando la deficiencia de humedad en el suelo persiste hasta la formación del capítulo, se origina la formación de capítulos pequeños y con muy pocos granos, lo que reduce, también el rendimiento de la planta. Cuando la humedad del suelo no es suficiente en el momento de la floración, se producen granos de peso inferior al característico de la variedad, lo cual está relacionado directamente con el rendimiento total. (21).

Aoorenbos y Kassam en 1979, concluyeron que el cártamo especialmente es susceptible al exceso de agua debido a ser propenso a las enfermedades en condiciones húmedas. Una humedad excesiva en el suelo causa la pudrición de las raíces; una lluvia excesiva durante la floración perjudica a la polinización y evita el hinchamiento completo de las semillas; si el exceso de lluvia se presenta después de que el cultivo alcanza su madurez ocasiona la germinación de la semilla en el capítulo. Además señalaron que el déficit de agua durante la parte inicial del período vegetativo y al final del mismo, provoca una reducción del crecimiento y prolonga el período vegetativo total; así mismo el cártamo tolera períodos de déficit de agua, pero para una producción máxima debe tenerse en cuenta que los períodos de floración y de formación de la cosecha son los más sensibles a este déficit (2).

Robles en 1980 al revisar un trabajo en cártamo bajo riego, conclu-

yó que para obtener los mejores rendimientos, los riegos deben ser con láminas de agua de alrededor de 8 cm por lo que es preferible proporcionar de cuatro, cinco y hasta seis riegos cuando sean necesarios con láminas de agua pequeñas, en lugar de que se le proporcione solo tres y con láminas de agua excesivas como puede ser de 15 cm o más altas, ya que es importante que el terreno no contenga exceso de humedad para evitar la proliferación de fitopatógenos, pues en este caso, el cártamo tiene susceptibilidad a pudriciones radiculares (31).

EL CIANO en 1982 reporta que el cultivo del cártamo necesita dos riegos en suelos francos y cuatro en suelos arcillosos. Mencionan que los riegos de auxilio en ambos tipos de suelo deberán ser ligeros, para evitar excesos de humedad y la presencia de enfermedades radiculares, Para suelos francos el riego de presiembra debe ser pesado, con una lámina de 20 a 25 cm; mientras que el riego de auxilio deberá ser ligero con una lámina de 10 cm, y se aplicará entre los 60 y 75 días después de la siembra, que es el momento cuando la planta empieza a ramificar.

Cuando el tipo de suelo es arcilloso el riego de presiembra deberá ser entre 15 y 20 cm; el primer riego de auxilio deberá darse aproximadamente a los 50 días después de la siembra cuando se inicie la ramificación; el segundo, se aplicará a los 80 días después de la siembra cuando se inicie la formación de botones florales y las cabezuelas se sientan duras al tacto; el tercero, y último riego de auxilio que determina el llenado completo de grano, se dará a los 110 días después de la siembra, cuando se inicie la floración (6).

La guía para la Asistencia Técnica Agrícola en la Laguna en 1977 recomendó para el cártamo aplicar una lámina pesada de 30 cm para el riego de presiembra y dos riegos de auxilio aplicados a los 87 y 115 días después de la siembra con láminas de 15 cm. El primer riego de auxilio que

daría ubicado poco antes de la floración y el segundo en el inicio de llenado de grano (15).

Badilla y Hernández en 1979 realizaron un experimento en el Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR) que consistió de dos factores de variación:

Métodos de riego y porcentaje del volumen total a reponer, aplicados en las principales etapas del cultivo como son: ramificación, formación de capítulos, floración y llenado de grano.

El primer factor constó de dos niveles en cama a doble hilera de 1.60 m de ancho y en surcos de 0.80 m de separación; en el segundo factor se estudiaron los siguientes niveles: 100,80,60,40 y 20. Se encontró para el factor métodos de riego que no había significancia en regar en camas o en surcos. En cambio para % de volumen a reponer se encontró diferencia altamente significativa.

La función de producción encontrada para el método de riego por camas fue lineal $Y = 1.711575 + 0.020889 X$, que no tiene óptimo económico; para surcos la función de producción fue del tipo cuadrático siendo la siguiente:

$Y = 1.559079 + 0.046855 X - 0.000441 X^2$ considerando el agua como factor variable, la ecuación refleja un óptimo económico de 53.0 cm para producir 2.36 ton/ha. La función de producción encontrada, tiene la restricción que los riegos y la cantidad de agua, necesariamente deben ser aplicados al inicio de las etapas fenológicas (4).

Chavira durante los ciclos agrícolas de Invierno en 1976-1977, 1977-1978, y 1978-1979, en el campo agrícola experimental del Valle del Mayo; realizó varios trabajos en el cultivo del cártamo, con relación a su comportamiento con el insumo agua, en dos tipos de suelos; suelos migajón arcillo arenoso y en suelos arcillosos. Encontró que para el pri-

mer tipo de suelo se obtuvieron las más altas producciones cuando a este cultivo se le aplica, además del riego de presiembra; un riego de auxilio a los 45 días después de la siembra, y que para terrenos de textura arcillosa el cártamo produce los rendimientos más elevados cuando se proporciona el riego de presiembra y tres riegos de auxilio 45, 75 y 105 días después de la siembra (22).

Minjares y Chavira desarrollaron en 1975 dos experimentos en cártamo en el Distrito de Riego No. 38 de Navojoa, Son. en los dos experimentos se probaron los mismos tratamientos, variando únicamente la textura del suelo. Los tipos de suelo fueron arcilloso y migajón limoso.

En los experimentos se investigó simultáneamente dos factores: El primero consistió de cinco niveles de humedad y el otro factor consistió de cuatro variedades (Gila, Saffola, Prossag y Carmex).

En el suelo arcilloso económicamente resultó mejor regar al 10 ó 20 % de H.A. en los cuales se dieron 3 riegos con una lámina total de 56.0 y 52.0 cm y con rendimientos de 2.30 y 2.50 ton/ha respectivamente. En este tipo de suelo no hubo diferencias entre variedades.

Con respecto al suelo de textura migajón limoso resultó ser más económico aplicar solo el riego de presiembra con una lámina total de 17 cm y un rendimiento de 3,20 ton/ha; la mejor variedad resultó ser la Prossag (19).

Duarte en 1980 realizó en el campo agrícola experimental del Valle del Mayo un experimento en cártamo que consistió en evaluar ocho calendarios de riego en base a etapas fenológicas, tres fechas de siembra (3 de Diciembre, 3 de Enero y 3 de Febrero) y cuatro densidades de población (50, 100, 150 y 200 mil plantas/ha). Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas subdivididas; se encontró que los mejores rendimientos de grano se tuvieron en la primer fecha de siembra, con el

calendario de cuatro riegos, ubicados los riegos de auxilio en las etapas de inicio de ramificación, inicio de botones, e inicio de floración y con las cuatro poblaciones; el rendimiento más bajo se obtuvo con la tercer fecha de siembra, con el calendario de dos riegos de auxilio aplicados al inicio de ramificación e inicio de floración con 200,000 plantas por ha (8).

En el Distrito de Riego No. 10 de Culiacán, Sin. en 1974 se realizó un experimento en cártamo con 3, 7, 11 y 15 atm de tensión y diferentes fórmulas de fertilización : 0 - 0 - 0, 0 - 40 - 0, 0 - 80 - 0, 0 - 120-0, 40 - 0 - 0, 40 - 40 - 0, 40 - 80 - 0, 40 - 120 - 0, 80 - 0 - 0, 80-40-0, 80 - 80 - 0 y 80 - 120 - 0.

Se utilizó el diseño bloques al azar con parcelas divididas y cuatro repeticiones. En la parcela grande se consideró el tratamiento de humedad y en la parcela chica el tratamiento de fertilización.

Los resultados indicaron que no se encontró diferencias significativas con los niveles de fertilización; en cambio para los tratamientos de tensión de humedad en el suelo fueron altamente significativas y el mejor tratamiento resultó ser regar cuando el agua esté disponible para la planta a una tensión de 11 atm, el calendario derivado de este tratamiento fue el siguiente:

	1	2	3	4	5	Total
NR						5
IR	0	55	24	15	17	135
Lr	13	18	12	12	12	67

NR = Número de riegos

IR = Intérvalo de riegos en días

Lr = Lámina de riego aplicada en cm (7).

Ibarra en 1981 define la función de producción como una expresión o ecuación matemática que indica la relación que hay entre diferentes nive

les de insumo o insumos empleados en la producción y los productos obtenidos. Señala además este mismo autor que en general no se conoce la ecuación algebraica de la función, lo que se hace es ajustar una función determinada con los datos disponibles; por lo que este autor cita a Heady y Dillon que indican los siguientes tipos de funciones como las más comunes, aclarando que hay una infinidad de formas que pueden obtenerse:

1. Cobb - Douglas
2. Spillman - Mitscherlich
3. Función de tipo polinomial (11).

Palacios y Martínez en 1978 señalaron que el rendimiento de un cultivo depende de muchos factores variables, algunos controlables, como la fertilización, el riego, etc., otros parcialmente controlables como algunas plagas y enfermedades y otros no controlables como son los factores atmosféricos; para investigar el efecto de determinados factores, pueden mantenerse varios de los factores variables, controlables, como constantes y asumirse alguna constancia de los factores no controlables, se representaría de la siguiente manera:

$$Y = f(X_1, X_2 \mid X_3 \dots X_m) \quad - - - - (a)$$

Donde:

Y = Rendimiento del cultivo

X_m = Factor variable que influye en el rendimiento

Donde los factores a la derecha de la raya vertical se consideran constantes y solo se asumen variables los dos primeros a la izquierda de dicha raya.

Bajo esta suposición, puede considerarse para fines de análisis, que el rendimiento de un cultivo depende solamente de la cantidad de agua consumida por él, antes del riego, en una etapa fisiológica determinada, esto es:

$$Y = f (X_1, X_2, \dots X_i) - - - - (b)$$

Donde:

X_i = representa la cantidad de agua que ha sido consumida del suelo por el cultivo en la etapa i (24).

Martínez indica en 1974 que han adoptado los modelos de tipo polinómicos para estudiar funciones de producción debido a que son expresiones matemáticas de fácil manejo e interpretación mediante la utilización del Algebra Lineal (13).

Martínez menciona en 1978 que los polinomios de segundo grado son las funciones que más se usan en la práctica ya que permiten una representación bastante razonable de las respuestas de un cultivo a las adiciones de insumos de la producción (14).

Palacios y Martínez en 1982 proponen relacionar mediante simples polinomios cuadráticos los rendimientos observados de los cultivos con diferentes niveles mínimos de humedad o tensiones máximas a las que están sujetos los cultivos durante varias etapas de su desarrollo, utilizando una metodología experimental similar a la que se usa para encontrar funciones de respuesta a niveles de fertilización.

Con base en esta metodología, se han encontrado en Chapingo, funciones de respuesta para los principales cultivos básicos cuya forma general es del tipo:

$$R = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 - B_4 X_1^2 - B_5 X_2^2 - B_6 X_3^2 + B_7 X_1 X_2 + B_8 X_1 X_3 + B_9 X_2 X_3$$

Este tipo de función considera tres etapas de desarrollo:

Donde X_i es el nivel de humedad residual o tensión en la etapa i -ésima, B es el i -ésimo parámetro de la función que puede obtenerse mediante la técnica de regresión lineal múltiple.

Si este tipo de función tiene un punto extremo máximo, puede obtenerse mediante cálculo diferencial que maximice el rendimiento R . (25)

Palacios citado por Moreno reporta en 1976 el análisis hecho de varios experimentos variando el régimen de humedad realizados en el Noroeste de México y obtiene funciones de producción tipo polinómico de orden cuadrático y pseudo cuadrático, además presenta la interpretación y la manera de optimizar el cuándo y el cuánto regar (20)

Palacios en 1977 indicó recomendaciones para la obtención de las funciones de producción en riegos y son las siguientes:

- Tener cuidado de considerar la profundidad de control; sucede que los cultivos pueden tomar agua a profundidades considerables.
- Al diseñar los experimentos, deberá considerarse un rango de variación de las variables que abarque la etapa de decremento en los rendimientos.
- Al construir el modelo de la función, tomar en cuenta el efecto de colinealidad entre las variables, es decir, descartar una de las variables cuando se encuentre una alta correlación con otra. Posteriormente puede buscarse una correlación entre ambas, mediante una función apropiada.
- Considerando la complejidad de los experimentos cuando se analizan varios factores variables (otros no relacionados con el agua), es recomendable que al buscar las funciones de producción, se relacione solamente el consumo de agua con los rendimientos, con el fin de simplificar los experimentos, tomando los factores no relacionados con el uso del agua como constantes. Esta simplificación - disminuye las fuentes de error y permite obtener de manera más clara las relaciones Agua-Suelo-Planta (23).

Cochran y Cox señalan en 1974 que los polinómios de superficie de respuesta tienen la ventaja de que son fáciles de ajustar, mencionan que se debe hacer una elección conveniente del diseño y que los polinómios no

son muy confiables cuando se extrapolan. Una superficie polinómica de be considerarse como una aproximación dentro del nivel de exploración cubierta por el experimento.

Afirma que cualquier producción a partir del polinomio de respues ta, fuera del nivel de exploración debe verificarse con nuevos ensayos antes de confiar en ella (5).

Palacios indica en 1977, que bajo la suposición de que la agrícu l tura de riego es eminentemente comercial, es recomendable maximizar el Ingreso Neto, para un cultivo específico; lo anterior se representa de la manera siguiente:

$$IN = P_p Y - (P_a X_a + C) \quad \text{--- (c)}$$

Donde:

IN = Ingreso Neto del agricultor

Y = Rendimiento del cultivo

P_p = Precio del producto

P_a = Precio del agua

X_a = Cantidad de agua usada

C = Otros costos de producción

Para maximizar el Ingreso Neto con relación a la cantidad de agua usada debe cumplirse lo siguiente:

$$\frac{dIN}{dX_a} = \frac{dY}{dX_a} P_p - P_a = 0$$

$$\frac{dY}{dX_a} = \frac{P_a}{P_p} \quad \text{--- (d)}$$

La ecuación (d) es la condición necesaria para un máximo, indica que la derivada de la función que relaciona la cantidad de agua usada con el rendimiento, debe ser igual a la relación entre el costo del agua Y el precio del producto del cultivo. La condición suficiente, es que

la segunda derivada de la ecuación (c) respecto a la cantidad de agua usada, sea negativa (23).

Cochran y Cox en 1974 mencionaron los siguientes tipos de diseños experimentales como más utilizados en la Investigación Agrícola: bloques al azar, cuadro latino y bloques incompletos. En cuanto al diseño de tratamientos, donde el objetivo es claramente estimar una función de respuesta, los mismos autores mencionan que los experimentos factoriales completos al tratar de ampliar el rango de exploración, aumentando el número de niveles, el experimento crece desmesuradamente; para estas situaciones estos científicos recomiendan los factoriales incompletos que son los que no emplean todos los tratamientos de un factorial completo y su análisis se basa totalmente en la metodología de la regresión, partiendo la variación debido a los tratamientos en los componentes; a. regresión b. desviaciones de la regresión (5).

Por diseño se busca que los cálculos para el ajuste a la función de respuesta propuesta, sean relativamente sencillos. Este objetivo se logra si el diseño tiene la propiedad de ser ortogonal, condición que implica una estimación independiente de cada uno de los efectos de interés; de estos tipos de diseños es importante presentar los mencionados por Palacios y Martínez que son el cuadrado doble, el San Cristobal y la matriz experimental plan Puebla (24).

MATERIALES Y METODOS

Localización del Lugar

Este trabajo se desarrolló en la Comarca Lagunera, región agrícola que geográficamente se localiza entre los paralelos $24^{\circ}59'$ y $26^{\circ}53'$ de latitud Norte y entre los meridianos $101^{\circ}41'$ y $104^{\circ}65'$ de longitud Oeste del meridiano de Greenwich; la altura sobre el nivel del mar es de 1.139 m. La localización hidrológica de esta región es la cuenca baja de los Ríos Nazas y Aguanaval.

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

Clima del Lugar

El clima, según la clasificación del Dr. C.W. Thornthwaite, es árido, con lluvia deficiente en todas las estaciones; se analiza por ($B_1^1 b^1$), clima muy seco con temperatura semiárida, con Invierno benigno. Temperatura. Se diferencian muy bien dos épocas: la primera de Abril a Octubre y donde la temperatura media mensual excede de 20°C y la segunda etapa de Noviembre a Marzo, donde la temperatura media mensual oscila entre $13,8^{\circ}\text{C}$ y $19,6^{\circ}\text{C}$.

Precipitación. De acuerdo a las lluvias registradas en la estación climatológica del CENAMAR, se observa que el período de máxima precipitación está comprendido por los meses de Agosto y Septiembre; sin embargo, se han presentado años con lluvias intensas en los meses de Mayo, Junio, Julio y Octubre.

A continuación se presentan los datos promedio de algunos factores

climatológicos, de acuerdo a los registrados en la estación climatológica del CENAMAR.

	1975 - 1982
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 - - - - -	2543 mm
Humedad relativa media anual - - - - -	48 %

Suelos e Hidrografía

Los suelos de la región pertenecen al gran grupo Aridisoles, Suborden Argids de los que en la región se han diferenciado 12 series. Los suelos del campo experimental CENAMAR pertenecen a la serie Coyote que se encuentra localizada en el centro de la Comarca Lagunera y abarca una superficie de 98,200 ha; se caracteriza por ser suelos de textura media a pesada con estructura determinada por falta de materia orgánica y exceso de laboreo. En cuanto a su fertilidad se considera media por su contenido de nitrógeno, fósforo, y alta en potasio, calcio, y magnesio.

La principal fuente de abastecimiento de agua de que dispone la Región Lagunera es la del Río Nazas, controlada por las Presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco; otra fuente de abastecimiento son los escurrimientos del Río Aguanaval, siendo éstos muy irregulares. La tercer fuente de abastecimiento es el agua subterránea, estando ésta restringida por los abatimientos de los mantos freáticos originados por una extracción mayor año con año, en volúmenes muy superiores a su recarga.

Localización del Sitio Experimental

El lote experimental donde se desarrolló el trabajo se localiza dentro del área experimental del CENAMAR (Sección II Lote 3), ubicado al margen derecho del Canal Sacramento, a la altura del Km 6+500, del Distrito de Riego No. 017 de la Región Lagunera, en el Municipio de Gómez Palacio, Durango, México.

Datos climatológicos presentados durante el desarrollo del experimento

Al comparar los datos climatológicos presentados en el Cuadro 3 del apéndice, se observa que la temperatura media mensual durante el ciclo 1981-1982 fue ligeramente superior a la temperatura media de 1975-1981. Analizando las precipitaciones presentadas durante el desarrollo del experimento, son significativamente más bajas a la media de 7 años del CENAMAR; en cuanto a las evaporaciones presentadas, sólo en dos meses (Abril y Mayo) del ciclo del cultivo se registraron evaporaciones más bajas, en tanto que en los demás meses las evaporaciones sucedidas fueron aproximadamente iguales.

Análisis Físico y Químico del Suelo del Lote Experimental

Se localizaron seis puntos de muestreo del sitio experimental a las profundidades de 0-30, 30-60, y 60-90 cm para la determinación de sus características físicas y químicas. Las muestras de suelo obtenidas fueron analizadas en el laboratorio de análisis de agua-suelo-planta del CENAMAR.

Determinaciones Físicas del Suelo.

Las muestras fueron secadas al sol y tamizadas, posteriormente en el laboratorio se realizaron las siguientes determinaciones:

Textura. Se determinó utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos -

este método consiste en determinar la cantidad de sólidos en suspensión midiendo la densidad de ésta por medio de un densímetro llamado hidrómetro de Bouycoucos, considerando que el cambio de densidad de la suspensión depende de la velocidad de caída de las partículas que forman el suelo (ver los análisis de suelos en el Cuadro 4 del apéndice).

Densidad aparente. Para esta determinación se utilizó el método del cilindro de volumen conocido diseñado por Uhland y Veihmeyer. Se obtuvieron muestras de suelo para las profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90; los resultados son presentados en el Cuadro 4 del apéndice.

Capacidad de campo. La determinación de capacidad de campo fue hecha por medio del método de la olla de presión, es decir, considerar como estimación de dicha constante el contenido de humedad a 1/3 de atmósfera. Esta estimación fue corroborada por medio del método de campo (ver los valores en el Cuadro 4 del apéndice).

Porcentaje de marchitamiento permanente (PMP). Se consideró como PMP el porcentaje de humedad retenida por el suelo a 15 atm de tensión; se utilizó para la determinación de este parámetro de humedad la membrana de presión. Los valores obtenidos son presentados en el Cuadro 4 del apéndice.

Contenido de humedad del suelo a saturación. La humedad a saturación fue determinada con la pasta a saturación cuando la tensión vale cero; los datos son presentados en el Cuadro 4 del apéndice.

Curvas de tensión de humedad del suelo. Tanto el suelo como el agua de riego utilizada en el trabajo se consideró sin problemas de sales, de tal manera que la componente más importante del potencial total del agua en el suelo, lo constituye el potencial matricial expresado como la curva de tensión de humedad del suelo. La metodología que se utilizó para su obtención fue la olla y membrana de presión; el método consiste en someter

muestras de suelo saturado a diferentes tensiones, comprendidas en el rango de 1/3 a 15 atm. Los datos obtenidos se ajustaron por medio de una regresión al modelo potencial siguiente:

$$T = K P_s^n$$

En el Cuadro 1 se presentan las ecuaciones obtenidas.

CUADRO 1. ECUACIONES DE LAS CURVAS DE TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO

Profundidad cm	E c u a c i o n e s	
0 - 30	$T = 295656811.6 P_s^{-6.04}$	$r = 0.99$
30 - 60	$T = 60154058.9 P_s^{-5.56}$	$r = 0.99$
60 - 90	$T = 97333071.93 P_s^{-5.68}$	$r = 0.98$

Para la obtención de estas ecuaciones se realizó con promedio de seis repeticiones por estrato de suelo con lo que se obtuvo una mayor confiabilidad de los datos generados; lo anterior es de gran importancia ya que en base a estas ecuaciones se determinó el régimen de humedad de cada tratamiento para su posterior análisis.

En las Figuras 1, 2 y 3 del apéndice se presentan las curvas de retención de humedad del suelo correspondientes al suelo del sitio experimental donde se desarrolló la investigación.

Determinación de la velocidad de infiltración. Para la determinación de la velocidad de infiltración se utilizó el método de entradas y salidas con el aforador Parshall; con los datos obtenidos se calculó la velocidad de infiltración e infiltración acumulada, para esto se basó en el método empírico desarrollado por Kostiakov-Lewis.

Para la velocidad de infiltración se obtuvo la ecuación siguiente:

$$V = 16.6952T^{-0.49603}$$

Obteniéndose el valor de 1.25 cm/h, la ecuación obtenida para infiltración acumulada fue:

$$Z = 0.18334 T^{0.6894}$$

En los dos casos el coeficiente de correlación fue de 0.90; la gráficas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada son presentadas en la Figura 4 del apéndice.

Determinaciones químicas del suelo.

Después de que las muestras fueron secadas al sol y tamizadas, en el laboratorio se obtuvieron los extractos de saturación para las diferentes determinaciones químicas.

Reacción del suelo. Consiste en determinar el grado de acidez o alcalinidad del suelo y se expresa por medio del pH; para su determinación se realizó por el método del potenciómetro de Beckman (ver Cuadro 5 del apéndice).

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica como un indicador de la concentración de sales solubles en el extracto de saturación del suelo fue determinada por medio del puente de Wheatstone; los resultados son presentados en el Cuadro 5 del apéndice.

Cationes y aniones. Se determinaron los siguientes cationes y aniones: calcio, magnesio, sodio, nitrógeno, fósforo, potasio, carbonatos, bicarbonatos sulfatos y cloruros; para la determinación se utilizó la metodología propuesta por USDA, los valores son presentados en el Cuadro 5 del apéndice.

Contenido de materia orgánica. Para la determinación de la materia orgánica se utilizó el método de Walkley-Black modificado, el cual consiste en determinar el carbono que se encuentra en la materia orgánica, y como en las demás determinaciones fue obtenido para las tres profundidades 0-30, 30-60 y 60-90. De acuerdo a los porcentajes obtenidos, quedó clasificado como muy pobre en contenido de materia orgánica (Cuadro 5 del apéndice).

Clasificación de suelos por salinidad. De acuerdo a los resultados del porcentaje del sodio intercambiable y a la conductividad eléctrica de las muestras analizadas, el suelo del lote experimental se clasifica como suelo normal, sin problemas de sales, según la clasificación de Riverside, (Cuadro 5 del apéndice).

Características del Agua

Fuente de abastecimiento

El agua utilizada para proporcionar los riegos al experimento fue extraída del pozo profundo, propiedad del campo experimental del CENAMAR.

Determinaciones Químicas

El análisis químico del agua de riego se realizó con el fin de conocer sus características y en base a ellas determinar los índices de clasificación por salinidad y posible toxicidad que en un momento dado alteraría los resultados de la investigación.

Conductividad Eléctrica. Para esta determinación se utilizó el puente de conductividad de Wheatstone ; los valores están dados en micromhos/cm (Cuadro 6 del apéndice).

pH del agua. Para la determinación del pH del agua se utilizó el potenciómetro Beckman; los resultados son presentados en el Cuadro 6 del apéndice.

Cationes y aniones. Los cationes y aniones determinados fueron los siguientes: Calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, y cloruros, se utilizó para su obtención la metodología propuesta por USDA; las determinaciones anteriores se utilizaron para la obtención de los índices de clasificación del agua de riego siguientes: salinidad potencial, salinidad efectiva, porcentaje de sodio posible, relación de adsorción de sodio y carbonato de sodio residual. Los resultados de -

estas determinaciones se presentan en el Cuadro 6 del apéndice.

Clasificación del agua de riego. El agua de riego utilizada en este trabajo de acuerdo al Cuadro 6 del apéndice se clasifican según el manual 60 en agua de alta salinidad y bajo contenido de sodio representada por C_3S_1 . La clasificación de Aceves y Palacios citados por Martínez, el agua es condicionada por su contenido de sales solubles para riego de cultivos y se representa de la manera siguiente: $\frac{C}{1a}$.

Metodología Empleada

Tomando en cuenta el objetivo planteado en el presente trabajo, - encontrar una función de producción en base a la variación del régimen de humedad del suelo; la metodología empleada consistió en determinar por medio del análisis de regresión múltiple una función matemática, - que nos relacionó el rendimiento en grano y el ingreso neto con diferentes contenidos de humedad del suelo en dos etapas fenológicas del cultivo del cártamo. Con la función de producción encontrada se maximizó el rendimiento y el ingreso neto en función del óptimo manejo del insumo - agua de riego en cada una de las etapas consideradas.

Para lograr los fines propuestos fue utilizado un diseño experimental y un arreglo de tratamientos; así mismo se manejaron parcelas experimentales pequeñas para abaratar costos.

Diseño Estadístico

Diseño Experimental

Para la obtención de la máxima cantidad de información pertinente al problema bajo investigación, se utilizó el diseño experimental, bloques al azar con trece tratamientos y cuatro repeticiones.

Diseño de Tratamientos.

Se utilizó el cuadrado doble como diseño de tratamientos el cual

forma parte de los llamados factoriales parciales; consiste básicamente en un factorial 5x5, del cual se eligen sistemáticamente 13 de las combinaciones originales.

Una de las ventajas de los factoriales parciales es que proporcionan información bastante aproximada de la respuesta de los cultivos a niveles de determinado insumo de la producción dentro de la región de exploración considerada y permite la estimación de la interacción de los insumos considerados en el modelo matemático.

Además de que la ecuación de predicción proporciona un medio adecuado para calcular la cantidad óptima económica del insumo considerado.

Este diseño de tratamientos se ha desarrollado especialmente para ser usado conjuntamente con el modelo polinomial cuadrático, el cual es uno de los empleados con mayor frecuencia para establecer relaciones funcionales, dado que son las funciones continuas más conocidas, de gran facilidad y flexibilidad en su manejo y los cálculos son un poco más sencillos.

En este estudio se empleó un modelo polinomial cuadrático con dos variables (variación del régimen de humedad en dos etapas del cultivo), el cual consiste de la siguiente expresión:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2$$

Donde:

b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 y b_5 son los parámetros estimados mediante el método de mínimos cuadrados, representando:

b_0 - término constante (rendimiento al no ser aplicado el insumo considerado)

b_1 - efecto lineal del régimen de humedad en la primer etapa.

b_2 - efecto lineal del régimen de humedad en la segunda etapa.

- b_3 - efecto cuadrático del régimen de humedad en la primer etapa
- b_4 - efecto cuadrático del régimen de humedad en la segunda etapa
- b_5 - efecto de la interacción lineal x lineal de los dos regímenes de humedad en las dos etapas del cultivo.

Factores y Niveles en Estudio.

Los factores en estudio lo constituyeron los regimenes de humedad en el suelo en dos etapas del cultivo del cártamo. La primer etapa - consistió en la duración en días desde la siembra hasta inicio de formación de capítulos.

La segunda etapa considerada, abarcó desde el inicio de formación de capítulos hasta que el cultivo haya alcanzado su madurez fisiológica.

Con el propósito de lograr variaciones del régimen de humedad del suelo dentro de cada etapa considerada del cultivo, fueron programados diferente número de riegos en cada etapa; por lo que los factores en estudio fueron: número de riegos en la primer etapa y número de riegos en la segunda etapa del cultivo.

Los niveles de estudio fueron de 1-2-3-4-5 y 0-1-2-3-4 riegos en la primera y segunda etapa respectivamente.

La elección de los tratamientos en estudio se realizó en base a la metodología del diseño de tratamientos cuadrado doble (Figura 5 - del apéndice). Los tratamientos resultantes se presentan en el Cuadro 2.

Considerando la evaporación del agua como un parámetro representativo del clima; la programación de los riegos se hizo en base a los valores medios mensuales de evaporación registrada (tanque tipo A) en CENAMAR de 1975-1981 verificada con datos de la estación climatológica de Cd. Lerdo, Dgo.

CUADRO 2. TRATAMIENTOS RESULTANTES

No. de Tratamientos	No. de Riegos 1a. Etapa	No. de Riegos 2a. Etapa
1	1	0
2	1	2
3	1	4
4	2	1
5	2	3
6	3	0
7	3	2
8	3	4
9	4	1
10	4	3
11	5	0
12	5	2
13	5	4

Los riegos de los tratamientos quedaron igualmente espaciados en intervalos de evaporación dentro de cada etapa. De acuerdo a la fenología del cultivo y con las medias mensuales de 7 años registrados en CENAMAR, fueron programados 423 y 830 mm. de evaporación para la primera y segunda etapa respectivamente. Estos valores se dividieron entre el número de riegos correspondiente a cada etapa en cada tratamiento obteniéndose los intervalos de evaporación para cada uno de ellos.

El Cuadro 3 presenta la programación de los riegos en base a evaporación para el conocimiento del cuándo regar.

Distribución y trazo de los tratamientos en el campo.

En base al levantamiento topográfico fueron ubicados los bloques del experimento, colocados de tal manera que no existieran variaciones fuertes de pendiente en la parcela experimental. Los trece tratamientos fueron distribuidos en cada bloque realizando un sorteo independiente de

los tratamientos. En la Figura 6 del apéndice se logra apreciar en detalle lo anterior.

CUADRO 3. PROGRAMACION DE LOS RIEGOS EN BASE A EVAPORACION

Trata_miento	No. de riegos en la Primer etapa					No. de riegos en la Segunda etapa			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-0	0								
1-2	0					423**	415		
1-4	0					423	207	207	207
2-1	0	211*				211			
2-3	0	211				211	277	277	
3-0	0	141	141						
3-2	0	141	141			141	415		
3-4	0	141	141			141	207	207	207
4-1	0	106	106	106		106			
4-3	0	106	106	106		106	277	277	
5-0	0	85	85	85	85				
5-2	0	85	85	85	85	85	415		
5-4	0	85	85	85	85	85	207	207	207

* Intervalo en evaporación entre riegos para la primer etapa.

** Intervalo en evaporación entre riegos para la segunda etapa

Parcela Experimental y Parcela Util.

Las dimensiones de la parcela experimental fueron de 4.80 m de ancho y 10.0 m de largo, la separación entre parcelas fue de 1.60 m, con el fin de evitar traslapes de un tratamiento húmedo hacia uno seco. En la parcela experimental se implantaron tres camas meloneras de 1.60 m de ancho con doble hilera de plantas separadas de 5 a 6 cm. Para la parcela útil se tomó la cama media o sea las dos hileras de plantas centrales a las cuales se les desechó un metro de las cabeceras para evitar el efecto de orilla.

La separación entre repeticiones o bloques fue de 8 m de los cuales 3 m fueron para construcción de regaderas y los 5 m restantes se utilizaron para los caminos de acceso. En la Figura 7 del apéndice se puede observar con más detalle.

VARIABLES ANALIZADAS

Las variables analizadas fueron de dos tipos:

VARIABLES DEPENDIENTES.

Las variables dependientes son las diferentes respuestas del cultivo al ser sometido a variaciones en su manejo. En el caso particular de este trabajo al ser sometido a variaciones del régimen de humedad del suelo en dos etapas del mismo; su respuesta fue cuantificada mediante las siguientes variables dependientes:

Rendimiento en grano (ton/ha)

Ingreso Neto (\$/ha)

Para el caso de Ingreso Neto corresponde a un análisis económico con el cual se detectaron los incrementos en ganancia por el insumo (agua de riego) aplicado al cultivo. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$IN = Vp - (C_f + C_v)$$

Donde:

IN = Ingreso Neto (\$/ha)

Vp = Valor de la producción (\$/ha)

C_f = Costos fijos (\$/ha)

C_v = Costos variables (\$/ha)

Los datos de costos presentados en el Cuadro 7 del apéndice fueron los que rigieron durante el ciclo agrícola Invierno 1981-1982 en la Región Lagunera para el cártamo, autorizados en la Representación Regional de la SARH.

VARIABLES INDEPENDIENTES.

Las variables Independientes estuvieron constituidas por las diferentes maneras de representar el régimen de humedad del suelo, considerándolo como la variación de la humedad del suelo en el transcurso del tiempo; en este caso en el transcurso de cada una de las dos etapas - fenológicas del cultivo.

Los parámetros que nos representaron el régimen de humedad fueron: Tensión al riego, Consumo de agua y Número de riegos.

Tensión al riego. Esta variable se calculó con el contenido de humedad del suelo detectado al momento del riego, su obtención fue en base a la curva de tensión de humedad del suelo. El valor de tensión fue obtenido por estrato y posteriormente promediado para toda la profundidad de control y por etapa.

$$TR = \frac{\sum_{i=1}^m KP_s^n}{m}$$

Donde:

TR = Tensión al riego (atm)

m = Número de riegos por etapa

Ps = Porcentaje de humedad al momento del riego

K,n= Coeficientes obtenidos en la regresión

Consumo de Agua. Esta variable no representa del todo al régimen de humedad ya que únicamente explica el cuánto regar; 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.

Secuencia del Análisis

Para lograr los objetivos planteados, la secuencia de análisis a seguir, consistió en realizar el análisis de varianza de los tratamientos para el diseño experimental bloques al azar, con las variables dependientes antes señaladas.

Posteriormente fueron obtenidos los modelos de regresión, deducidos de las variables independientes estudiadas con respecto a las variables dependientes.

De los modelos obtenidos se seleccionó la variable que mostró mejor ajuste cuadrático, tomando como criterio el máximo coeficiente de determinación. En seguida se procedió a eliminar coeficientes que no eran significativos al 95% de confianza. El modelo obtenido de la manera descrita fue considerado el más representativo del sistema de producción que permitió analizar y obtener decisiones del cuándo y cuánto regar de manera óptima.

Labores Agronómicas

Para desarrollar el experimento en el cultivo del cártamo, las prácticas agronómicas como preparación del terreno, variedad usada, aplicación de fertilizantes, fecha de siembra, criterio para saber cuando efectuar la cosecha, control de plagas y enfermedades se siguieron conforme las recomendaciones generadas en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte (CIAN)

Preparación del Terreno.

Barbecho. Como primer paso para la preparación de una buena cama de siembra, se realizó un barbecho con arado de discos, a la profundidad de 25-30 cm de la manera más uniforme posible.

Rastreo. Se efectuó un rastreo doble, en forma cruzada para mullir el

terreno y facilitar una alta germinación de la semilla.

Nivelación. Se dio un paso de land-plane para lograr una superficie uniforme y evitar encharcamientos al aplicar el agua de riego y eliminar así errores significativos en los muestreos para determinar el abatimiento de la humedad en el suelo.

Levantamiento Topográfico. Efectuado el paso de land-plane se procedió a realizar un levantamiento topográfico del lote experimental y en base a éste se definió el trazo del riego.

Datos del Cultivo.

El cultivo utilizado en este trabajo fue el cártamo (Carthamus tinctorius), la variedad utilizada fue la Gila que es la más apropiada para la región pues es la que se ha adaptado más al clima y ha resultado tener mayor rendimiento por unidad de superficie.

La siembra se efectuó a tierra venida el día 7 de Enero de 1982, con la sembradora fertilizadora de botes. La densidad utilizada fue de 15 kg por hectárea en camas de 1.60 m de ancho con doble hilera de plantas. La separación entre hileras de plantas en la cama fue de aproximadamente 60 a 65 cm, y entre plantas de 5 a 6 cm.

Fertilización.

La fertilización se realizó en forma mecánica. Con la sembradora fertilizadora, aplicando la fórmula 100-40-00 al momento de la siembra. Esta aplicación se realizó en banda sencilla a chorrillo, depositándola abajo y hacia un lado de la hilera de la semilla. El producto comercial utilizado fue urea y superfosfato triple como fuente de nitrógeno y fósforo respectivamente.

Malas Hierbas.

En la superficie de la parcela experimental no hubo necesidad de

efectuar deshierbes, ésto se inició únicamente en las regaderas para eliminar las hierbas que en un momento dado podrían entorpecer la conducción del agua de riego y ser un foco de infestación de plagas. Aporques.

Se realizó esta labor cultural durante el inicio del ciclo vegetativo del cártamo, después de cada riego de auxilio, con el fin de remover y arrimar tierra a las hileras de plantas, para lograr mejor formación de las camas y sellar las grietas para evitar pérdida de humedad excesiva. Esta labor se hizo con la Lillestone y con cultivadoras con vertederas de 45 cm de ancho.

Incidencia de enfermedades y plagas.

No hubo presencia de enfermedades a lo largo del ciclo de desarrollo del cártamo.

En cuanto a incidencia de plagas se presentó pulgón (Rhapalosiphum maidis) en la etapa de formación de capítulos. Esta plaga fue combatida con el insecticida Folimat 1000 E.

Cosecha.

La cosecha se realizó en forma manual, cuando las brácteas de las cabezuelas se tomaron de un color café, cuando la semilla se desprendía fácilmente del capítulo, en esta etapa el contenido de humedad en la semilla es de un 8 a 10 %. Se cosechó la parcela útil que consistió de dos hileras de plantas de una cama melonera de 1.60 m y de 8 m de largo, con una superficie de 12.8 m². La cosecha se efectuó el 20 de junio de 1982, tomándose datos de rendimiento en grano.

Control y Medida del Régimen de Humedad del Suelo

Este punto es la parte medular de toda investigación en riegos,

por lo que se le dio la importancia requerida a través de la conducción del trabajo.

Muestreo de Humedad

Para la determinación de los abatimientos de humedad se utilizó el método gravimétrico. Este método es el procedimiento para determinar el régimen de humedad del suelo más preciso y confiable por lo que es el más utilizado en la experimentación en riegos y cuando no es así, es tomado en cuenta para la calibración del sensor de humedad que se planeó utilizar. Lo anterior es debido a que este método por definición es el único determinístico que existe para hacer mediciones de la humedad en el suelo. Sin embargo, en la práctica este procedimiento puede no dar resultados satisfactorios dependiendo del grado de cuidado y del conocimiento que se tenga en su aplicación.

Para hacer un uso adecuado del método es necesario entender que el método gravimétrico basa su precisión en dos aspectos que son: La técnica de muestreo y el cuidado que se tenga durante su realización y el trabajo de secado y cálculo del contenido de humedad.

Una manera de cuantificar en parte estos dos aspectos es mediante la desviación estandar estimada a partir de los datos obtenidos en un muestreo rutinario. Entre mayor sea el valor de la desviación estandar, mayor es el error que se comete al estimar la humedad a partir del promedio de estos valores obtenidos a partir del muestreo.

En base a lo anterior, el procedimiento que debe seguirse para obtener los mejores resultados en el uso del método gravimétrico es:

Proporcionar adiestramiento al personal en el uso apropiado del equipo para la extracción de muestras representativas del lote.

Proporcionar al personal de muestreo de campo el equipo de recolección perfectamente identificado y limpio para evitar confusiones posteriores.

Vigilar que el equipo de laboratorio (estufas y balanzas) se encuentre en óptimas condiciones, asegurando un reporte de resultados perfectamente identificados.

Momento de muestreo. Para la determinación de humedad en el suelo el muestreo se efectuó en las parcelas 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.

Los muestreos de humedad fueron efectuados a una hora determinada; (de 8:30 a 9:00 hrs) con el fin de no generar errores en la determinación del régimen de humedad.

Sitio de muestreo. El muestreo de humedad se realizó en cada unidad experimental dentro del área correspondiente a la parcela útil y en la hilera de plantas.

Profundidad de muestreo. Para el cálculo de los abatimientos de humedad entre riegos se muestreó una profundidad de 90 cm , tomando en cuenta el desarrollo radicular del cultivo. El muestreo se efectuó por estratos de 30 cm . El consumo de agua se determinó por estrato de suelo y la suma de éstos constituyó la lámina a reponer en cada riego. Para la captación de posible aportación de agua de los estratos más profundos, se realizó un muestreo hasta la profundidad de 1.50 m antes del riego de presembrado y en la realización de cada etapa considerada.

Tipo de Barrena. La barrena utilizada para la captación de humedad en el suelo fue del tipo Veihmeyer de 2.6 cm de diámetro, de 1.50 m de longitud fragmentada cada 30 cm , extrayendo un peso de suelo de 100 a 150 g por estrato de 30 cm.

Número de muestras. El número de muestras por estrato de 30 cm, fluctuó de 4 ó 5 por unidad experimental, los muestreos fueron realizados en -

dos repeticiones, obteniéndose 16 muestras por tratamiento y para cada profundidad. Estos 16 valores eran promediados para obtener un valor medio representativo del contenido de humedad por profundidad.

Los datos obtenidos significativamente diferentes del valor medio eran anulados y no se tomaron en cuenta para determinar el régimen de humedad.

Recolección y transporte de muestras. Las muestras extraídas inmediatamente se depositaron en botes de lámina de capacidad de 100 a 150 g y tapadas herméticamente. Lo anterior con el fin de que no perdieran humedad antes de ser pesadas.

El transporte de las muestras se efectuó rápidamente procurando que pasara el menor tiempo posible entre el término de la recolección de las muestras y la hora de pesar a las mismas; y evitando exponer al sol y al aire las muestras demasiado tiempo, con el objeto de lograr determinaciones de humedad lo más precisas posibles.

Aplicación de los Riegos.

Para la conducción del agua de riego de la fuente de abastecimiento al lote experimental donde se desarrolló este trabajo; se utilizó un canal revestido de sección trapezoidal.

Se manejaron gastos que fluctuaron de 60 a 70 lps. Este canal alimentaba a cuatro regaderas de tierra que llevaba el agua a las parcelas experimentales en las cuatro repeticiones, Figura 6 del apéndice.

Para la aplicación del riego a las parcelas experimentales primeramente se procedía a colocar el vertedor de demasías Figura 8 del apéndice; inmediatamente después al llenado de la regadera hasta el momento que el vertedor derivaba aguas abajo, cuando se alcanzaba esta condición la regadera llevaba de 20 a 25 lps, luego se procedía alimentar esta regadera con un poco más del gasto a utilizar para el riego -

de las parcelas experimentales.

Para lograr aplicar el volúmen de agua programado en cada parcela experimental, se mantuvo constante el caudal en la regadera para evitar así que los sifones no variaran en su carga hidráulica y por consecuencia en el gasto.

Para el riego de la parcela experimental se colocaron cuatro sifones con un gasto constante de 0.8095 lps y una carga hidráulica de 4 cm el tiempo de riego dependía de la lámina por aplicar detectada con el muestreo gravimétrico.

Con la lámina de riego aplicada se reponía la humedad a capacidad de campo para la profundidad de riego. Para los calculos se utilizó la siguiente fórmula:

$$L = \sum_{i=1}^3 \frac{(cc-Ps) Da \times Pr}{100}$$

Donde:

L = Lámina de riego en cm

i = Estratos del suelo experimental a los que se reponio la humedad a capacidad de campo.

cc = Porcentaje de humedad a capacidad de campo para cada uno de los estratos del suelo.

Ps = Porcentaje de humedad al momento del riego.

Pr = Profundidad de cada uno de los estratos del suelo experimental a los que se reponio la lámina de riego, la profundidad considerada fue de 30 cm.

Los volúmenes de agua aplicados se obtuvieron de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V = \sum_{i=1}^3 A \times L$$

Donde:

V = Volúmen de agua aplicados en m^3

A = Area de la parcela experimental en m^2

i = Cada uno de los estratos del suelo experimental a los que se repuso el volúmen de agua faltante.

L = Lámina de riego aplicada en m

Los tiempos de riego (t) se obtuvieron mediante la siguiente ecuación.

$$t = \frac{V}{(g)(ns)}$$

Donde:

t = Tiempo de riego en minutos

V = Volúmen de agua por parcela en m^3

g = Gasto por sifón en m^3 por minuto

ns = Número de sifones por parcela.

Calibración de sifones. Para la aplicación del agua de riego en cada tratamiento se utilizaron sifones de aluminio de 1". Estos sifones fueron calibrados previamente. La calibración se realizó con el fin de lograr una correcta aplicación del volúmen de agua programado para cada tratamiento.

Con esta calibración se logró conocer ampliamente la relación carga hidráulica-gasto de los sifones utilizados.

La calibración se llevó a cabo en el campo y se obtuvieron datos de gastos en lps, operando con diferentes carga hidráulica, Figura 9 del apéndice, con el conjunto de pares de datos se ajustaron a diferentes modelos; obteniéndose un mayor ajuste para el potencial, ya que se obtuvo el más alto coeficiente de correlación ($r = 0.98$). La ecuación obtenida por medio de regresión lineal fue la siguiente:

$$Q = 0.0979H^{0.5239}$$

Donde:

Q = Gasto en lps

H = Carga hidráulica

Con esta información se elaboró la curva de calibración de sifones de 1" de diámetro, como se presenta en la Figura 10 del apéndice.

Para la aplicación del agua en los tratamientos se manejaron cargas hidráulicas de 4 cm para los sifones citados, derivando un gasto de 0.20239 lps en cada uno de ellos.

Al momento de aplicar los riegos se utilizaron vertedores rectangulares de demasías aguas abajo de la unidad experimental por regar, con esto se lograba controlar la carga hidráulica a través del tiempo de riego, como lo presenta la Figura 8 del apéndice.

Cuando los sifones estaban operando, la carga hidráulica se midió, auxiliado con una manguera de hule transparente de 1 cm de diámetro y una regla graduada en cm. En la Figura 11 del apéndice se muestra lo anterior.

RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento Fenológico del Cultivo

El tiempo que transcurrió de siembra a inicio de formación de capítulos y de esta etapa a madurez fisiológica fue en general de 75 y 85 días para la primera y segunda etapa estudiadas respectivamente. Mediante observaciones realizadas durante el desarrollo del experimento no se reflejaron diferencias significativas en días en las principales etapas fenológicas del cultivo del cártamo, ya que sólo varió de 1 a 2 días la realización de cada etapa.

La realización de las principales etapas fenológicas del cultivo fue de la manera siguiente:

A los 45 días se presentó inicio de ramificación, a los 75 inicio de formación de capítulos, a los 95 inicio de floración, a los 125 inicio de llenado de grano y a los 160 la madurez fisiológica, todo referido en días a partir de la siembra.

El cultivo tuvo ligeras diferencias en cuanto a número de ramificaciones y número de capítulos por planta respectivamente.

Las diferencias correspondieron a los tratamientos sometidos a sequía (1-0) y los más húmedos (5-4). Fue evidente que lo que dio la diferencia de producción fue el tamaño del capítulo así como el avance de la semilla ya que en los tratamientos más secos el tamaño del capítulo fue muy reducido y el porcentaje de avance alto.

Los diferentes tratamientos en régimen de humedad tuvieron diferencias muy marcadas en cuanto a altura de planta y follaje. Lo anterior se observa muy marcado en los tratamientos sometidos a rigurosa sequía (1-0) y los tratamientos más húmedos (5-4). Los primeros alcanzaron una altura de escasos 74 cm y sus plantas no alcanzaron un desarrollo

satisfactorio ya que sus ramificaciones eran bastante delgadas y cortas produciéndose las llamadas plantas "ajarilladas". En cambio en los tratamientos más húmedos como son los de 9 riegos al igual que los de 7 y 5 riegos lograron adquirir una altura entre 102 y 111 cm y sus plantas lograron un buen desarrollo vegetativo. En el Cuadro 4 se ilustra lo anterior.

CUADRO 4. No. DE CAPITULOS, No. DE RAMIFICACIONES Y ALTURA PROMEDIO POR PLANTA DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.

Tratamientos	Altura Plantas cm	No. Capítulos	No. Ramifica <u>ci</u> ones.
1-0	74.0	13.0	18.0
1-2	79.0	14.0	16.0
1-4	75.0	14.0	14.0
2-1	92.0	16.0	16.0
2-3	94.0	17.0	17.0
3-0	98.0	16.0	21.0
3-2	102.0	18.0	23.0
3-4	103.0	17.0	17.0
4-1	108.0	17.0	24.0
4-3	102.0	20.0	24.0
5-0	109.0	18.0	23.0
5-2	109.0	18.0	23.0
5-4	109.0	18.0	23.0
T	90.0	17.0	21.0

Analizando el Cuadro 4 se concluye que someter al cultivo del cártamo a deficiencias de humedad en el suelo, en lapsos de tiempo prolongados; produce efectos muy marcados en cuanto a altura de plantas y en menor proporción para No. de capítulos y No. de ramificaciones.

En base a la fenología detectada, se realizó la ubicación de los riegos aplicados, se tomó como referencia las principales etapas fenológicas del cultivo del cártamo, el Cuadro 5 ilustra lo anterior; con este cuadro se tuvo un mayor criterio para explicar el porque de los

CUADRO 5. UBICACION DE LOS RIEGOS PARA CADA TRATAMIENTO ENSAYADO, DE ACUERDO A LAS PRINCIPALES ETAPAS FENOLOGICAS DEL CARTAMO.

Tratamiento	ETAPAS FENOLOGICAS					
	Establecimiento (0 días)	Inicio Ramificación (45 dfas)	Inicio formación capítulos (75 dfas)	Inicio floración (95 dfas)	Inicio llenado grano (125 dfas)	
1 - 0	* (0)					
1 - 2	* (0)		*(76)		*(123)	
1 - 4	* (0)		*(76)	*(99)	*(123) *(145)	
2 - 1	* (0)	*(44)	*(76)			
2 - 3	* (0)	*(44)	*(76)	*(109)	*(139)	
3 - 0	* (0)	*(35)	*(57)			
3 - 2	* (0)	*(35)	*(57)	*(116)		
3 - 4	* (0)	*(35)	*(57)	*(99)	*(123) *(145)	
4 - 1	* (0)	*(27)	*(60)			
4 - 3	* (0)	*(27)	*(60)	*(109)	*(139)	
5 - 0	* (0)	*(21) *(37)	*(58) *(68)			
5 - 2	* (0)	*(21) *(37)	*(58) *(68) *(76)		*(123)	
5 - 4	* (0)	*(21) *(37)	*(58) *(68) *(76)	*(99)	*(123)	
T	* (0)	*(43)	*(73)	*(93)	*(145)	

* Aplicación de riego () Dfas a partir de la siembra

resultados de cada uno de los tratamientos ensayados.

Como se observa en el Cuadro 5 fue aplicado el riego de establecimiento igual para todos los tratamientos y su diferenciación se realizó a partir del primer riego de auxilio en adelante. Analizando la colocación de los riegos en las principales etapas fenológicas se concluye que resulta de gran importancia tomarlas en cuenta para la ubicación de los riegos en cártamo ya que cuando coincidieron los riegos con estas etapas se tuvo la mayor producción.

Datos Climatológicos Observados

El ciclo de desarrollo del cultivo fue de 160 días promedio de la siembra hasta cosecha; durante este tiempo se hicieron observaciones climatológicas con el fin de ampliar el criterio para una mejor comprensión de los resultados generados de la investigación. Los datos observados fueron de temperatura máxima (T.Max.) temperatura mínima (T.Min.) temperatura media (T.Med.) evaporación (Evap.), precipitación (pp), humedad relativa (Hr). Los datos se representan en el Cuadro 8 del apéndice.

Análisis del Régimen de Humedad del Suelo.

Variables Independientes

Las variables independientes que representan al contenido de humedad del suelo como ya se mencionaron y definieron fueron tensión al riego, consumo de agua y número de riegos. Los resultados obtenidos para cada uno de los tratamientos se presentan en el Cuadro 6. Analizando este cuadro observamos que el rango de los niveles es bastante amplio lo que resulta conveniente para dar lugar a decrementos en la producción al someter el cultivo tanto a deficiencia como a un contenido de humedad abundante. Con lo anterior es muy factible la obtención de la función de producción.

CUADRO 6. VARIABLES INDEPENDIENTES PARA CADA TRATAMIENTO RESULTANTES DEL REGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO

Tratamiento	Número de Riegos		Tensión al Riego (atm)		Consumo de Agua (cm)	
	1a. Etapa	2a. Etapa	1a. Etapa	2a. Etapa	1a. Etapa	2a. Etapa
1	1	0	15	15	13,49	0.0
2	1	2	15	12.3	13.49	31.50
3	1	4	15	5.2	13.49	62.30
4	2	1	8.1	15.2	21.90	13.20
5	2	3	8.1	8.3	21.90	44.80
6	3	0	4.0	15.0	30.70	0.0
7	3	2	4.0	12.1	30.70	27.80
8	3	4	4.0	5.3	30.70	63.30
9	4	1	2.7	15.0	35.09	10.30
10	4	3	2.7	8.0	35.09	40.70
11	5	0	1.7	15.0	40.97	0.0
12	5	2	1.7	12.5	40.97	24.0
13	5	4	1.7	5.0	40.97	56.70
T	2	2	-	-	-	-

Para número de riegos fluctuó desde aplicar uno hasta nueve riegos. Para tensión al riego los niveles estudiados fueron desde 1.7 hasta 15 atm y para consumo de agua de 13.5 a 97.7 cm durante todo el ciclo vegetativo del cártamo.

Calendarios de riegos resultantes

La ubicación de los riegos se definió en base a la evaporación y el cuánto regar se detectó por medio del muestreo gravimétrico realizado durante el desarrollo del cultivo. Los calendarios de riegos resultantes para cada tratamiento se presentan en el Cuadro 9 del apéndice. En este cuadro se señalan las láminas aplicadas, intervalo y evaporación entre riegos para cada tratamiento y por etapa. Se puede analizar que para la primer etapa el número de riegos osciló de uno a cinco, las láminas aplicadas de 13.7 a 46.1 cm; para la segunda etapa el rango abarcó de cero a cuatro riegos y de cero a 63.4 cm para número de riegos y láminas de agua aplicados respectivamente.

Variables de Respuesta

Rendimiento en grano.

Las variables dependiente rendimiento en grano a 8% de humedad obtenidos en cada uno de los tratamientos estudiados se exhiben en el Cuadro 7, se observa en este cuadro que el rendimiento más alto se manifestó en el tratamiento de tres y dos riegos para la primera y segunda etapa respectivamente.

Analizando la tendencia de los resultados en rendimiento de grano se observa que aumentaron a medida que se aplicaba de uno a cinco riegos. En el tratamiento 3-2 se alcanzó el rendimiento máximo, el cual no tuvo diferencias significativas con los tratamientos 4-1 y 3-4, se detecta que para aplicar más de cinco riegos al cártamo no aumenta la pro

ducción y por el contrario decrece en forma leve. En la Figura 12 del apéndice se puede apreciar más en detalle lo anterior.

CUADRO 7. VARIABLE RESPUESTA - RENDIMIENTO EN GRANO (KG/HA)

Tratamiento	R E P E T I C I O N E S				
	I	II	III	IV	\bar{X}
1 - 0	2153	2130	2716	2019	2254
1 - 2	3682	3656	4358	3409	3776
1 - 4	4075	4047	3867	2905	3723
2 - 1	4479	3899	4563	4556	4374
2 - 3	4198	4314	4987	4134	4408
3 - 0	3682	5319	4665	4218	4471
3 - 2	5137	5784	5068	5644	5408
3 - 4	4414	5824	5416	4690	5086
4 - 1	4618	5879	5007	4907	5103
4 - 3	4947	4481	5416	4552	4849
5 - 0	3968	5519	4623	5077	4797
5 - 2	4701	4287	5206	5463	4914
5 - 4	3977	5545	4658	4924	4776
T	4693	4368	4844	4617	4630

Ingreso Neto

El análisis económico realizado para cada tratamiento se presenta en el Cuadro 8, en él se observa que se obtuvo la mayor ganancia cuando se le aplicó 3 y 2 riegos para la primera y segunda etapa respectivamente. La ganancia menor fue obtenida cuando se proporcionó únicamente el riego de presembrado a lo largo del ciclo vegetativo.

Al analizar el Cuadro 8 se puede llegar a la conclusión que la tendencia es muy parecida a la de rendimiento en grano ya que la ganancia mayor fue obtenida con el mismo tratamiento de cinco riegos (3-2); este tratamiento no presentó diferencias significativas con el que se le aplicó cuatro riegos en la primer etapa y uno en la segunda (4-1).

También se detectó que cuando el cártamo se le proporciona menos o más riegos que el tratamiento 3-2 la ganancia decrecía. En la Figura 13 del apéndice se aprecia en forma más clara lo anterior.

CUADRO 8. VARIABLE RESPUESTA INGRESO NETO (\$/HA)

Tratamiento	R E P E T I C I O N E S				\bar{X}
	I	II	III	IV	
1 - 0	16028	15757	22672	14447	17226
1 - 2	31523	31217	39500	28302	32636
1 - 4	33659	33328	31204	19852	29511
2 - 1	41571	34727	42562	42479	40335
2 - 3	35701	37070	45011	34946	38182
3 - 0	32452	51769	44052	38777	41763
3 - 2	47314	54949	46500	53297	50515
3 - 4	35975	52613	47799	39232	43905
4 - 1	42042	56922	46632	45452	47762
4 - 3	43448	37950	48983	38787	42292
5 - 0	34659	52961	42388	47745	44439
5 - 2	41249	36364	47208	50240	43765
5 - 4	30080	48583	38116	41254	39508
T	41903	38068	43684	41006	41165

Procedimiento de Análisis

Análisis de Varianza

Fue efectuado el análisis de varianza tanto para rendimiento en grano como para Ingreso Neto con el diseño bloques al azar y los resultados se presentan en los cuadros 10 y 11 del apéndice respectivamente. Se encontró significancia entre bloques con lo que se concluye que fue conveniente utilizar la técnica del bloqueo para confundir el error generado por la heterogeneidad del lote experimental. Este análisis también reportó diferencias altamente significativas de los tratamiento

tos que constituyeron las variables respuesta.

Para el método tradicional, el siguiente paso sería realizar una prueba de comparación de medias, sin embargo, el fin del trabajo es analizar los datos en forma conjunta; por lo tanto se procedió a realizar el análisis de regresión de los datos generados del experimento con el modelo propuesto.

Selección del modelo de ajuste a los datos.

El modelo de regresión propuesto fue el polinomial cuadrático completo de dos factores que tiene la siguiente forma:

$$R = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2$$

Donde:

R = Rendimiento en grano o ingreso neto

b_0 = Constante de regresión, es la ordenada al origen del modelo.

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

X_1 y X_2 = Régimen de humedad en el suelo durante la primera y segunda etapa.

Para este experimento se trabajó con tres variables independientes y dos dependientes; fueron seleccionados un total de seis modelos, uno para cada combinación de variables, se presentan en el Cuadro 9.

Selección de la Variable Independiente.

En el Cuadro 9 se presentan en orden decreciente las variables independientes que mejor se ajustan al modelo polinomial cuadrático, lo anterior fue en base al más alto índice de determinación y el nivel de significancia de los coeficientes de regresión.

Los modelos que presentaron mayor coeficiente de determinación se obtuvieron al relacionar rendimiento en grano e ingreso neto con las va

riables independientes, número de riegos y consumo de agua. Para rendimiento en grano los modelos presentaron una $R^2 = 0.71$ y una confiabilidad de los coeficientes de regresión mayor que 95%. Para el caso de ingreso neto los coeficientes de determinación fueron de $R^2 = 0.66$ y los coeficientes de regresión mayor que 95%. También cuando se relacionó las variables respuesta con tensión al riego se obtuvo un buen ajuste al modelo propuesto ya que para rendimiento en grano resultó una $R^2 = 0.66$ y para ingreso neto el coeficiente de determinación fue $R^2 = 0.61$ para los dos casos los coeficientes de la regresión tuvieron una confiabilidad mayor que 95%.

Es importante aclarar que el número de riegos por ser una variable discreta no es conveniente utilizarla para representar al régimen de humedad, sin embargo se analizó para tal fin con el propósito de lograr mayor criterio en la discusión de los resultados. Cuando se relacionó las variables respuesta con la variable independiente consumo de agua se generaron los modelos con los cuales se maximizó el rendimiento en grano e ingreso neto en función del cuánto regar. Sin embargo esta variable no conduce al cuánto regar, para tal caso se utilizó tensión al riego ya que esta variable representa tanto al cuánto como el cuánto regar.

Optimización del Modelo

Para realizar la optimización de cada uno de los modelos se basó en la teoría de máximos y mínimos del cálculo diferencial. Para lograr lo anterior el primer paso fue obtener la derivada parcial del rendimiento de grano e ingreso neto con respecto al régimen de humedad de cada etapa del cultivo considerada e igualarla a cero, esto representa la condición necesaria para maximizar la producción o el ingreso neto;

CUADRO 9. MODELOS RESULTANTES PARA LAS VARIABLES RESPUESTA. RENDIMIENTO EN GRANO E INGRESO NETO

Variable Independiente	Rendimiento en Grano					r ²	
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄		b ₅
No. de Riegos	865.805	1820.833	820.063	-209.548	-101.236	-91.864	0.71
Consumo de Agua	-929.178	301.198	61.243	- 3.976	- 0.429	- 0.929	0.71
Tensión Riego	3337.363	117.943	333.750	- 8.522	- 15.105	- 9.456	0.66
<u>Ingreso Neto</u>							
No. de Riegos	1746.118	20475.929	8615.899	-2414.699	-1256.374	-1061.436	0.66
Consumo de Agua	-19298.094	3486.625	637.189	- 47.566	- 4.985	10.999	0.66
Tensión al Riego	21465.847	1716.822	3988.013	- 111.355	- 159.659	- 108.510	0.66

la condición suficiente fue que la segunda derivada de los modelos fue negativa.

El siguiente paso fue resolver por simultáneas el par de ecuaciones que resultaron de derivar parcialmente cada modelo con el fin de encontrar los valores óptimos del régimen de humedad para la obtención del máximo rendimiento en grano e ingreso neto.

Con la determinación de los valores óptimos del régimen de humedad para las dos etapas, se logró conocer el cuánto y cuándo regar de manera óptima. El optimizar involucra el concepto económico, y desde el punto de vista de la producción significa maximizar ganancias o minimizar costos. De aquí se derivan dos procedimientos: optimizar la función de ingreso neto y maximizar la de rendimiento en grano. Con el primero se determina el régimen de humedad al que hay que someter el cultivo en sus dos etapas para obtener una mayor ganancia; con el segundo los correspondientes para lograr una mayor producción.

Resultados de la optimización.

Los resultados de la optimización fueron de dos tipos:

Cuando se trabajó con la variable respuesta rendimiento en grano se encontraron los valores críticos con los cuales se obtuvo el máximo potencial en rendimiento de grano del cártamo con el insumo agua de riego. Los valores críticos encontrados en este caso fueron los óptimos fisiológicos.

Para el caso de Ingreso Neto al realizar la optimización se encontraron los valores críticos de la función con los que se obtuvo la mayor ganancia ya que tomó en cuenta los costos de producción. Los valores encontrados en este caso fueron los óptimos económicos.

A continuación se realizó la optimización del modelo Rendimiento en Grano con tensión al riego con el objetivo de hacer más claro el pro

cedimiento de optimización.

$$R = 3337.363 + 117.943T_1 + 333.75T_2 - 8.522T_1^2 - 15.105T_2^2 - 9.456T_1T_2$$

Donde:

R = Rendimiento en grano

T_1 = Tensión de humedad del suelo para la primer etapa en atm

T_2 = Tensión de humedad del suelo para la segunda etapa

Derivando parcialmente el rendimiento para cada una de las etapas e igualando a cero.

$$\frac{dR}{dT_1} = 117.943 - 17.044 T_1 - 9.456 T_2 = 0$$

$$\frac{dR}{dT_2} = 333.75 - 30.31T_2 - 9.456 T_1 = 0$$

Al resolver simultáneamente las dos ecuaciones resultantes se obtuvo los valores óptimos fisiológicos del régimen de humedad:

$$- 17.044 T_1 - 9.456 T_2 = - 117.943$$

$$- 9.456 T_1 - 30.210T_2 = - 333.750$$

$$\frac{161.168 T_1 + 89.416T_2 = 1185.269}{- 161.168 T_1 - 514.899T_2 = - 5688.435}$$

$$- 425.483T_2 = - 4573.166$$

$$- 425.483T_2 = - 4573.166$$

$$T_1^* = 1.0 \text{ atm}$$

$$T_2^* = 10.7 \text{ atm}$$

Cuando se somete al cártamo a este régimen de humedad se obtiene un rendimiento máximo de:

$$R = 5,187 \text{ kg/ha.}$$

Lo anterior mostró el procedimiento a seguir en la optimización - de cada modelo.

Rendimiento en Grano. Como fue explicado anteriormente con esta variable respuesta se optimizó el régimen de humedad para las dos etapas con

el fin de obtener el máximo rendimiento o sea que los puntos críticos encontrados serían los óptimos fisiológicos. En el Cuadro 10 se presentan los resultados de la optimización.

CUADRO 10. NIVELES OPTIMOS FISIOLÓGICOS PARA RENDIMIENTO EN GRANO.

Variable Independiente	Optimo-Fisiológico		Rendimiento máximo en grano (kg/ha)
	1a. etapa	2a. etapa	
Tensión al riego (atm)	1	10.7	5187
Consumo de agua (cm)	34	34.5	5230
Número de riegos	3.8	2.3	5300

El comportamiento de los datos estimados para rendimiento en grano generados por los modelos resultantes para cada una de las variables independientes mencionadas, se observan en las Figuras 14, 15 y 16 del apéndice.

En la Figura 14 para la primer etapa el valor óptimo fisiológico se localizó fuera del rango estudiado en tensión, sin embargo el efecto cuadrático en esta etapa es evidente. Para la segunda etapa el óptimo fisiológico en tensión al riego se obtuvo dentro del rango estudiado y el efecto cuadrático fue muy marcado: los valores resultaron ser 1 y 10.7 atm para la primer y segunda etapa respectivamente. Para el caso de las Figuras 15 y 16 que corresponden a consumo de agua y número de riegos se observa claramente el efecto cuadrático para las dos etapas del cultivo. En estas Figuras se presenta el modelo representativo para cada variable independiente al igual que sus puntos óptimos resultantes de la optimización.

Ingreso Neto. Con esta variable dependiente se encontraron los valo

res óptimos económicos del régimen de humedad para la obtención de la máxima ganancia. Con esta información se procedió a encontrar el programa de riego óptimo ya que ingreso neto involucra más información al manejar ganancias y costos que en última instancia es lo que interesa en el sistema productivo.

En el Cuadro 11 se presentan los resultados de la óptimización - por medio del método de máximos y mínimos para cada una de las variables independientes.

CUADRO 11. NIVELES OPTIMOS ECONOMICOS PARA INGRESO NETO

Variable Independiente	Optimo económico		Ingreso Neto (\$/ha)
	1a. etapa	2a. etapa	
Tensión al riego (atm)	2	11.83	46,720.00
Consumo de agua (cm)	33	27	47,744.00
Número de riegos	3.8	1.8	48,864.00

Analizando los Cuadros 10 y 11 se concluye que los niveles óptimos para la primera etapa tanto fisiológicos como económicos no presentaron diferencias significativas, esto indica que la restricción impuesta por los costos variables en la determinación de la variable respuesta ingreso neto, fue mínima.

Para decidir los valores óptimos económicos a utilizar para la determinación del programa de riego óptimo se investigó la variación de la pendiente en los modelos de ingreso neto o lo que es lo mismo, la variación en incremento o decremento del ingreso neto al pasar de un nivel del régimen de humedad a otro; en el Cuadro 12 se analiza esta situación.

CUADRO 12. COMPARACION EN SU RESPUESTA DE NIVELES DEL REGIMEN DE HUMEDAD PARA LA PRIMER ETAPA.

Régimen de humedad	Niveles		Ingreso neto (\$/ha)		Diferencia (\$/ha)
Tensión al riego (atm)	2.0	4.0	46,720.	46,208	512
Consumo de agua (cm)	33.0	31.0	47,742	47,440	302
No. de riegos	3.8	3	48,864	47,280	1584

Para tensión al riego se mantuvo constante en la segunda etapa el valor de 12 atm que no tuvo diferencia en ingreso neto con 11.83 atm - una vez hecho lo anterior se varió para la primer etapa los valores de tensión al riego, se concluyó que no existe diferencia significativa entre el valor de 2 a 4 atm en la respuesta del cultivo en ingreso neto. De la misma manera se analizó para las variables independientes, consumo de agua y número de riegos, los resultados se presentan en el mismo cuadro. Al analizar este cuadro resultó que para la primer etapa el comportamiento de la pendiente tuvo una variación muy pequeña en los rangos - del régimen de humedad estudiados, esto significa que la respuesta en ingreso neto fue casi constante en los niveles comparados.

Las Figuras 17,18 y 19 del apéndice señalan la tendencia de la respuesta del cártamo en ingreso neto. Tanto para la primera como para la segunda etapa, la tendencia fue cuadrática, y como se analizó en el Cuadro 12, para la primer etapa existe cierta concavidad de las figuras - que abarcó cierto rango del régimen de humedad con el cual la respuesta en ingreso neto es muy leve en su incremento lo que significa que en este rango el contenido de humedad no aumentó significativamente las ganancias.

Tomando en cuenta que el recurso agua de riego está muy restringido en la región, se optó por seleccionar los niveles de humedad acorde con esta problemática, lo que significa escoger los de menor número de riegos dentro del rango comparado en el Cuadro 12 y que existiera una diferencia mínima en ganancias.

En base a lo dicho anteriormente se presenta en el Cuadro 13 los valores óptimos que resultaron ser los más convenientes de la comparación de los niveles del régimen de humedad del suelo para cada variable estudiada; con estos valores se elaboró el programa de riego óptimo para el tipo de suelo y condiciones en que se desarrolló el experimento.

CUADRO 13. OPTIMOS ECONOMICOS RESULTANTES COMO MAS CONVENIENTES PARA LA DETERMINACION DEL PROGRAMA DE RIEGOS.

Régimen de humedad	Primera etapa	Segunda etapa
Tensión al riego (atm)	4.0	12.0
Consumo de agua (cm)	31.0	27.0
No. Riegos	3	2

Los niveles óptimos del régimen de humedad generados por los modelos, coincidieron con el tratamiento que consistió de 3 y 2 riegos para la primera y segunda etapa respectivamente.

Estos resultados están acorde con lo señalado en la revisión de literatura en la cual se menciona aplicar de dos hasta seis riegos en todo el ciclo del cultivo dependiendo de la textura del suelo. Los niveles óptimos resultantes para consumo de agua fueron muy semejantes con el uso consuntivo del cártamo para la región.

Programa de riego óptimo.

En el presente trabajo uno de los objetivos fue la optimización del programa de riegos, lo que significa encontrar el cuánto y cuándo regar al cultivo del cártamo en base a los valores óptimos del contenido de humedad resultantes.

Como se indicó anteriormente la variable independiente tensión al riego es la más representativa del régimen de humedad ya que conduce a la optimización del cuánto y el cuándo regar. Los valores óptimos para esta variable generados del modelo coincidieron con el tratamiento 3-2 el cual se ensayó físicamente en el campo; para el caso de las otras dos variables independientes consumo de agua y número de riegos sucedió exactamente lo mismo; los valores óptimos del contenido de humedad en el suelo obtenidos por medio del modelo respectivo coincidieron con el mismo tratamiento (3-2) en su consumo de agua y número de riegos.

Al ocurrir lo anterior no hubo necesidad de realizar interpolación alguna, por lo tanto se presentó el caso que el programa de riegos óptimo correspondió al de dicho tratamiento.

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

						Total
NR:	1	2	3	4	5	5
IR:	0	51	22	19	40	132
Lr:	11	9	11	11	16	58

Donde:

NR = Número de riegos

IR = Intervalo de riegos (días)

Lr = Lámina de riego (cm)

El mejor tratamiento analizado en forma individual, resultó ser el 3-2 con un rendimiento medio de 5,400 kg/ha y un ingreso neto medio de \$50,500.00. El modelo resultante lo captó como el tratamiento óptimo económico.

Discusión sobre el testigo.

En base a Revisión de Literatura y el mejor criterio de la región se seleccionó el testigo al cual se le aplicó el programa de riegos que consistió en el riego de presiembra y tres riegos de auxilio aplicados a los 48, 73 y 93 días después de la siembra con láminas de riego de 20 cm para el riego de presiembra y 15, 15 y 15 cm para los de auxilio. El testigo correspondió la aplicación de dos riegos para la primer etapa considerada y dos para la segunda (2-2). La producción media resultó ser de 4630 kg/ha que generó un ingreso neto medio de \$ 41,160.00 ; comparándolo con el mejor tratamiento (3-2) existe una diferencia en rendimiento en grano de 778 kg/ha y \$9,340 en Ingreso neto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las funciones de producción, los valores óptimos fisiológicos y la producción máxima obtenidos cuando se relacionó rendimiento en grano con el régimen de humedad del suelo fueron los siguientes:

$$R = 3337.36 + 117.94T_1 + 333.75T_2 - 8.52T_1^2 - 15.10T_2^2 - 9.45T_1T_2$$

$$T_1^* = 1.0 \quad T_2^* = 10.7 \quad R^* = 5187$$

$$R = -929.18 + 301.19CA_1 + 61.24CA_2 - 3.97CA_1^2 - 0.43CA_2^2 - 0.93CA_1CA_2$$

$$CA_1^* = 33.8 \quad CA_2^* = 34.5 \quad R^* = 5230$$

$$R = 865.806 + 1820.83X_1 + 820.053X_2 - 209.55X_1^2 - 101.236X_2^2 - 91.86X_1X_2$$

$$X_1^* = 3.8 \quad X_2^* = 2.3 \quad R^* = 5300$$

Donde:

R^* = Rendimiento máximo del cultivo (kg/ha)

T_1^* y T_2^* = Optimo Fisiológico de tensión en atm para la primera y segunda etapa respectivamente.

CA_1^* y CA_2^* = Optimo fisiológico de consumo de agua en cm para la primera y segunda etapa respectivamente.

X_1^* y X_2^* = Optimo fisiológico en número de riegos para la primera y segunda etapa respectivamente.

Las funciones de producción expuestas explican el potencial del cártamo al relacionar el rendimiento en grano con el régimen de humedad del suelo. En base a las figuras correspondientes a cada modelo anterior, se concluye que la primer etapa fue más eficiente en el aprovechamiento del insumo agua de riego ya que ésta definió de manera contundente la diferencia en producción entre tratamientos; en lo que se refiere a la segunda etapa del cultivo, el incremento en producción -

fue más leve que en la primera ya que al proporcionarle al cultivo más de dos riegos en la segunda etapa la producción era constante e incluso descendente.

Cuando se proporcionó al cártamo solamente un riego (1-0) la producción obtenida fue de 2250 kg/ha; para el caso del tratamiento en el cual se aplicaron cinco riegos (3-2) el rendimiento en grano se elevó a 5410 kg/ha; el aplicar más de cinco riegos no es conveniente ya que la producción decrece como se observó en el tratamiento de nueve riegos (5-4) y además los costos de producción aumentan.

Las funciones de producción, los valores óptimos económicos y la ganancia máxima obtenidas al relacionar el ingreso neto con el régimen de humedad del suelo fueron los siguientes:

$$IN = 21465.85 + 1716.82T_1 + 3988.01T_2 - 111.35T_1^2 - 159.66T_2^2 - 108.51T_1T_2$$

$$T_1^* = 2.0 \quad T_1^{**} = 4.0 \quad T_2^* = 12.0 \quad IN^* = \$ 46,720.00$$

$$IN = -19298.09 + 3486.62CA_1 + 637.19CA_2 - 47.56CA_1^2 - 4.986CA_2^2 - 10.99CA_1CA_2$$

$$CA_1^* = 33.0 \quad CA_1^{**} = 31.0 \quad CA_2^* = 27.0 \quad IN = \$47,640.00$$

$$IN = 1746.12 + 20475.93X_1 + 8615.89X_2 - 2414.69X_1^2 - 1256.37X_2^2 - 106.14X_1X_2$$

$$X_1^* = 3.8 \quad X_1^{**} = 3.0 \quad X_2^* = 2.0 \quad IN^* = \$48,860.00$$

Donde:

IN^* = Ingreso neto máximo en \$/ha

T_1^* y T_2^* = Óptimos económicos de tensión en atm para la primera y segunda etapa respectivamente.

T_1^{**} = Nivel de tensión en atm para la primer etapa que resultó ser más conveniente en la obtención del programa de riegos. dada la poca diferencia que representa en ingreso neto con respecto a T_1^* . Significa la aplicación de tres riegos.

CA_1^* y CA_2^* = Óptimos económicos de consumo de agua en cm para la primera y segunda etapa respectivamente.

CA_1^{**} = Valor de consumo de agua para la primer etapa que resultó más conveniente para elaborar el programa de riegos. Significa la aplicación de tres riegos.

X_1^* y X_2^* = Número de riegos que resultaron ser los óptimos económicos para la primera y segunda etapa respectivamente.

X_1^{**} = Número de riegos para la primer etapa más convenientes en la determinación del programa de riegos.

Los resultados del experimento en ingreso neto para los diferentes tratamientos demostraron que no hubo diferencia significativa para esta variable respuesta en el rango de dos a cuatro atm en la primer etapa, estos valores del régimen de humedad del suelo correspondieron a la aplicación de tres a cuatro riegos. Lo anterior fue detectado por los modelos de ingreso neto siendo esto la explicación del porque no se encontró diferencias en los datos estimados para el rango de dos a cuatro atm en tensión para dicha etapa.

El régimen de humedad que resultó ser el óptimo fue el proporcionar los riegos a una tensión de humedad del suelo de 4.0 y 12.0 atm para la primera y segunda etapa respectivamente. Estos niveles óptimos económicos correspondieron al tratamiento 3-2 ensayado físicamente en el campo; el programa de riego óptimo se generó en base a dicho tratamiento. Con relación a lo anterior el cultivo del cártamo, obtiene la mayor ganancia cuando se le aplican tres riegos durante la etapa de siembra a inicio de formación de capítulos y dos riegos durante la etapa de inicio de formación de capítulos a madurez fisiológica. Se concluye que el programa de riego más apropiado fue el -

siguiente:

						Total
NR	1	2	3	4	5	5
IR	0	51	22	19	40	132
Lr	11	9	11	11	16	58

Donde:

NR = Número de riegos

IR = Intervalo entre riegos (días)

Lr = Lámina de riego (cm)

Es importante considerar las principales etapas de diferenciación fenológica del cártamo como son: inicio de ramificación, inicio de formación de botones florales, inicio de floración e inicio de llenado de grano para realizar la ubicación de los riegos de auxilio.

Es conveniente probar el programa de riegos óptimo en parcelas de prueba, a nivel comercial con el fin de generar un criterio más amplio y realista. Esto es importante ya que al trabajar en esta forma se involucran factores de la producción más reales, principalmente diferentes longitudes de riego, gastos, pendiente, tipos de suelo etc. que tiene como consecuencia una eficiencia en la aplicación del riego inferior a la que se maneja a nivel experimental.

LITERATURA CITADA

1. Aguirre, 1975. Guía climática de la Comarca Lagunera. Matamoros - Coahuila, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte. p. 5-9.
2. Aorenbos, J. y A.H. Kassam. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Riego y Drenaje. p. 137-139.
3. Aguilera Contreras, M. y R. Martínez Elizondo. 1980. Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. 2a. ed. México. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 63-68, 72-73, 83-91.
4. Badilla Verdugo, H. y C. Hernández Yáñez, 1979. Obtención del - Cuánto y Cómo regar en el cultivo de Cártamo. Gómez Palacio, Dgo. México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego. 30 pp (en prensa).
5. Cockran, W.C. y G.M. Cox. 1974. Diseños Experimentales. trad. de la 2a. ed. en inglés por el Colegio de postgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México. Trillas. p. 120-125, 372-373.
6. Castillo Torres, N. et al. 1982. Guía para producir cártamo en el Valle del Mayo. Navojoa, Sonora. México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Campo experimental del Valle del Mayo. 16 pp.

7. Culiacán, Sinaloa, México. Distrito de Riego No. 010. 1974. Experimentos Relación Agua-Suelo-Planta-Clima en cártamo. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 35 pp.
8. Duarte Ramírez, J. 1980. Evaluación de ocho calendarios de riego en base a etapas fenológicas, con tres fechas de siembra y cuatro poblaciones en cártamo. In: "Avances de la Investigación - CIANO No. 7". Pacheco M.F. ed. Navojoa, Sonora, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Campo Agrícola Experimental del Valle del Mayo. p.87-88.
9. Escobar Girón, J.A.1978. Metodología para el estudio de una superficie de respuesta en base al diseño cuadrado doble. Chapingo - México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados. 21 pp.
10. Gómez Palacio, Durango, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1981. Desarrollo de una metodología para conocer el tamaño de muestra para ordenar muestreos de humedad del suelo en una parcela experimental. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego. 30 pp.
11. Ibarra Alejo, R. 1981. Diagnóstico del uso de los recursos en sistemas de producción, a travez de funciones de producción. Chapingo México. Universidad Autónoma de Chapingo. 20 pp. (boletín técnico No. 26).
12. Little, M.T. y F.J. Hills. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. trad. de la 1a. ed. en inglés por Anatolio De Paula Crespo. México. Trillas. p. 59-65.

13. Martínez Garza, A. 1974. Teoría de la regresión y sus aplicaciones econométricas. México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de postgraduados. p. 53-60.
14. ———. 1978. Hacia el incremento de la productividad. Métodos estadístico-matemáticos. Chapingo México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de postgraduados. p. 87-95
15. Matamoros, Coahuila, México. Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte. 1977. Guía para la asistencia técnica Agrícola "La Laguna". Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. p. 35-38.
16. México. Subsecretaría de Agricultura y Operación. 1978. Características de los Distritos de Riego. Región Noroeste y Centro Norte. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. p. 261- 262. (tomo 1).
17. ———. 1981. Econotecnia Agrícola. La producción Agrícola en México en los últimos diez años. México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. p. 27.
18. México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Estadísticas de la producción agropecuaria y su valor. Ciclos Agrícolas 1980-81 y 1981-81. Zona de influencia de la Comarca Lagunera, Coahuila y Durango. Patronato para la investigación, fomento y sanidad vegetal de la Comarca Lagunera. p. 1-3, 69-70.

19. Minjares Lugo C. M.A. Chavira. 1976. Resultados obtenidos en - los experimentos DR. 38-2 y DR 38-3 con cultivo de cártamo. In: "El Mayo Agrícola". Navojoa, Sonora, México. Secretaría - de Recursos Hidráulicos. p. 16-19.
20. Moreno diaz, L. 1979. Obtención de una función de producción de frijol en base a regimenes variables de humedad del suelo. Té_ sis M.C. Chapingo, México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados. 94 pp.
21. Obeso Santos, E. y A. Velázquez. 1978. Cártamo su cultivo en Si_ naloa, Los Mochis, Sinaloa, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Campo Agrícola Experimental Valle del Fuerte. 12 pp. (circular CIAPAN No. 56).
22. Obregón, Sonora, México. Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste. 1981. Avances de la Investigación. Ciclos Agrícolas de 1976-1980. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. p. 49-50, 64-65, 50-53, 87-88 (CIANO No. 1,3,5 y 7).
23. Palacios Velez, E. 1977. Introducción a la teoría de la operación de Distritos de Riego. Chapingo, México. Secretaría de Agricul tura y Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados. p. 200-206, 220-221.
24. _____ y A. Martínez Garza. 1978. Funciones de respuesta de - los cultivos a diferentes tensiones de humedad del suelo. Chapin_ go, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. - Colegio de Postgraduados. p. 48-49, 60-63.

25. ————1982. Respuestas de algunos cultivos a regímenes variables de la humedad del suelo. In: "Recopilación de artículos publicados en diferentes revistas técnicas". Chapingo, México. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Colegio de Postgraduados. Centro de Hidrociencias. p. 115.
26. Peña, I. de la. 1978. El buen uso y manejo del agua de riego. Primera parte. Obregón, Sonora, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. p. 11-14, 27-28. (boletín técnico No. 8).
27. Ramírez Canales, J. 1976. Características generales de las series de suelos en la Región Lagunera, Coahuila y Durango. - Lerdo, Durango. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Distrito de Riego No. 017. p. 1-6.
28. Reyes Castañeda P. 1980. Diseño de experimentos aplicados. México. Trillas. p. 130-138.
29. Richards, L.A. 1977. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. trad. de la 6a. ed. en inglés por Sánchez Durón N. et al. México. Limusa. p. 8-22, 25,33.
30. Rojas, B.A. 1963. El diseño San Cristóbal en experimentos de fertilizantes. México. Memorias del 1er Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. p. 119-127.
31. Robles Sánchez, R. 1980. Producción de oleaginosas y textiles. México. Limusa, p. 334-335, 339.
32. Sánchez, D.S. 1979. El cultivo del cártamo. Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura. 35 pp.

33. Turrent Fernández, A.R.J. Laird. 1978. La matriz experimental plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de - cultivos. Chapingo, México. Secretaría de Agricultura y Re cursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados. 14 pp.

A P E D I C E

CUADRO 1. ESTADISTICAS DEL CARTAMO A NIVEL NACIONAL

Año	Superficie Sembrada (has)	Rendimiento (ton/ha)	Producción (ton)	Valor Producción (\$)
1970	175,395	1,645	288,493	444,488.000
1971	264,932	1,550	410,734	638,705.000
1972	198,837	1,364	271,286	427,401.000
1973	197,992	1,506	298,172	565,264.000
1974	191,654	1,421	272,429	1'025,077.000
1975	363,051	1,466	532,297	1'791,351.000
1976	184,937	1,299	240,518	876,156.000
1977	403,713	1,284	518,444	2'170,142,000
1978	429,062	1,435	615,556	3'476,171,000
1979	522,722	1,202	628,288	3'547,740,000
1980	392,233	1,136	445,505	3'207,636,000

CUADRO 2. ESTADISTICAS DEL CARTAMO PARA LA COMARCA LAGUNERA

Año	Superficie Sembrada (has)	Rendimiento (ton/ha)	Producción (ton)	Valor Producción (\$)
1972	7,594	1,250	9,493	14,239,000
1973	5,341	1,300	6,944	13,888,000
1974	12,111	1,223	14,809	59,236,000
1975	7,226	1,301	9,415	32,952,000
1976	3,070	0,798	4,047	14,164,000
1977	6,045	0,860	5,199	25,995,000
1978	3,693	1,694	6,256	37,536,000
1979	7,501	1,675	12,563	75,378,000
1980	3,216	1,211	3,895	29,796,750
1981	5,595	1,723	9,634	77,072,000

CUADRO 3. DATOS CLIMATOLOGICOS REGISTRADOS DURANTE EL EXPERIMENTO

Mes	Temperatura media mensual (°C)		Precipitación mensual (mm)		Evaporación media diaria (mm)	
	1975-81	1982	1975-81	1982	1975-81	1982
Enero	12.04	14.6	13.78	0.0	3.53	4.84
Febrero	13.94	14.7	2.60	3.8	5.19	5.28
Marzo	18.31	20.0	1.75	0.0	7.69	7.40
Abril	20.71	22.5	19.32	10.3	9.62	8.24
Mayo	24.04	24.6	24.52	0.9	10.33	8.96
Junio	26.00	27.4	25.22	7.1	10.35	10.47

CUADRO 4. DETERMINACIONES FISICAS DEL SUELO.

Prof. (cm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura	CC %	pmp %	Ps* %	Da gr/cm ³
0-30	41.4	29.4	29.2	Mr	30.6	15.9	58.7	1.35
30-60	39	31.8	29.2	Mr	30.0	14.7	57.5	1.30
60-90	41.4	35.4	23.2	Franco	29.3	14.4	54.6	1.32

* Contenido de humedad a saturación.

CUADRO 5. DETERMINACIONES QUIMICAS DEL SUELO

Prof. cm	pH	MO %	CE mmhos/cm.	PSI Meq/l	NO ³ %	P ₂ O ₅ %	Ca Meq/l	K meq/meq/l	HCO ₃ meq/l	CO ₃ meq/l	SO ₄ meq/l
0-30	7.7	1.1	2.7	0.93	0.06	3.1	21.2	1.3	1.9	8.1	15.3
30-60	7.7	.76	2.0	1.22	0.03	2.3	11.9	1.0	2.0	9.4	12.3
60-90	7.7	.52	2.4	1.74	0.02	2.1	13.5	0.8	1.9	11.6	11.3

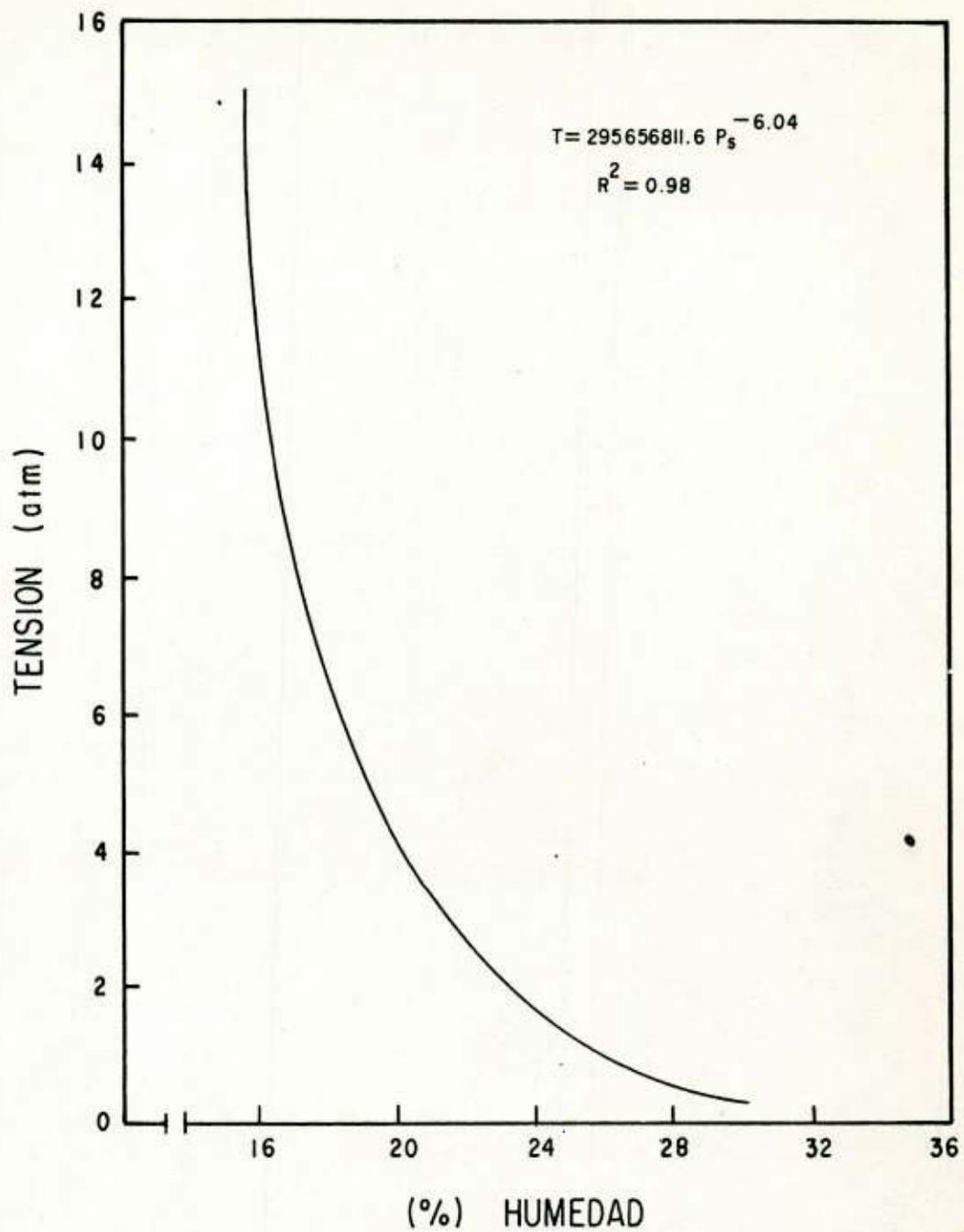


Figura 1. Curva de tensión de humedad del suelo en el lote experimental a la profundidad de 0.30 cm.

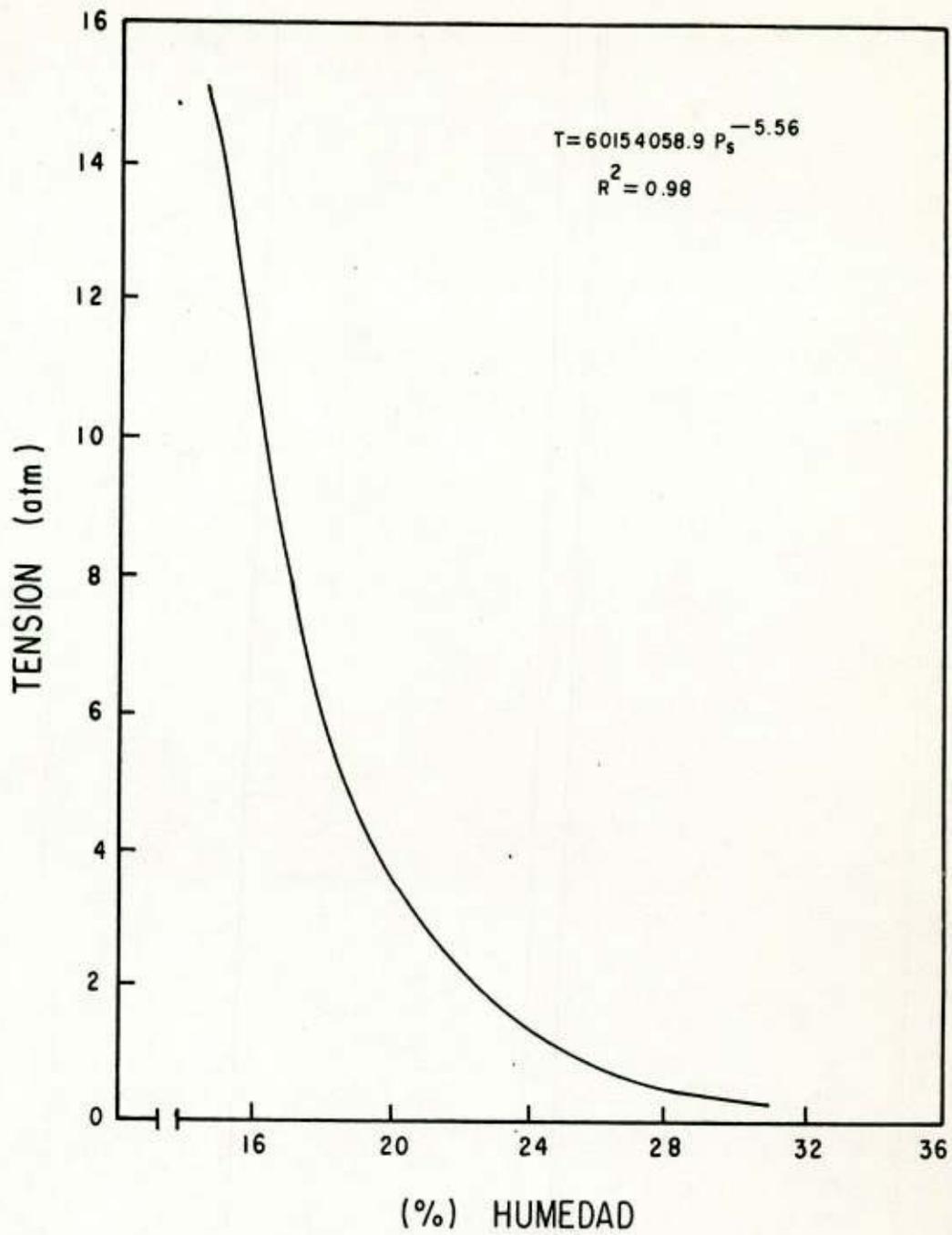


Figura 2. Curva de tensión de humedad del suelo en el lote experimental a la profundidad de 30–60 cm.

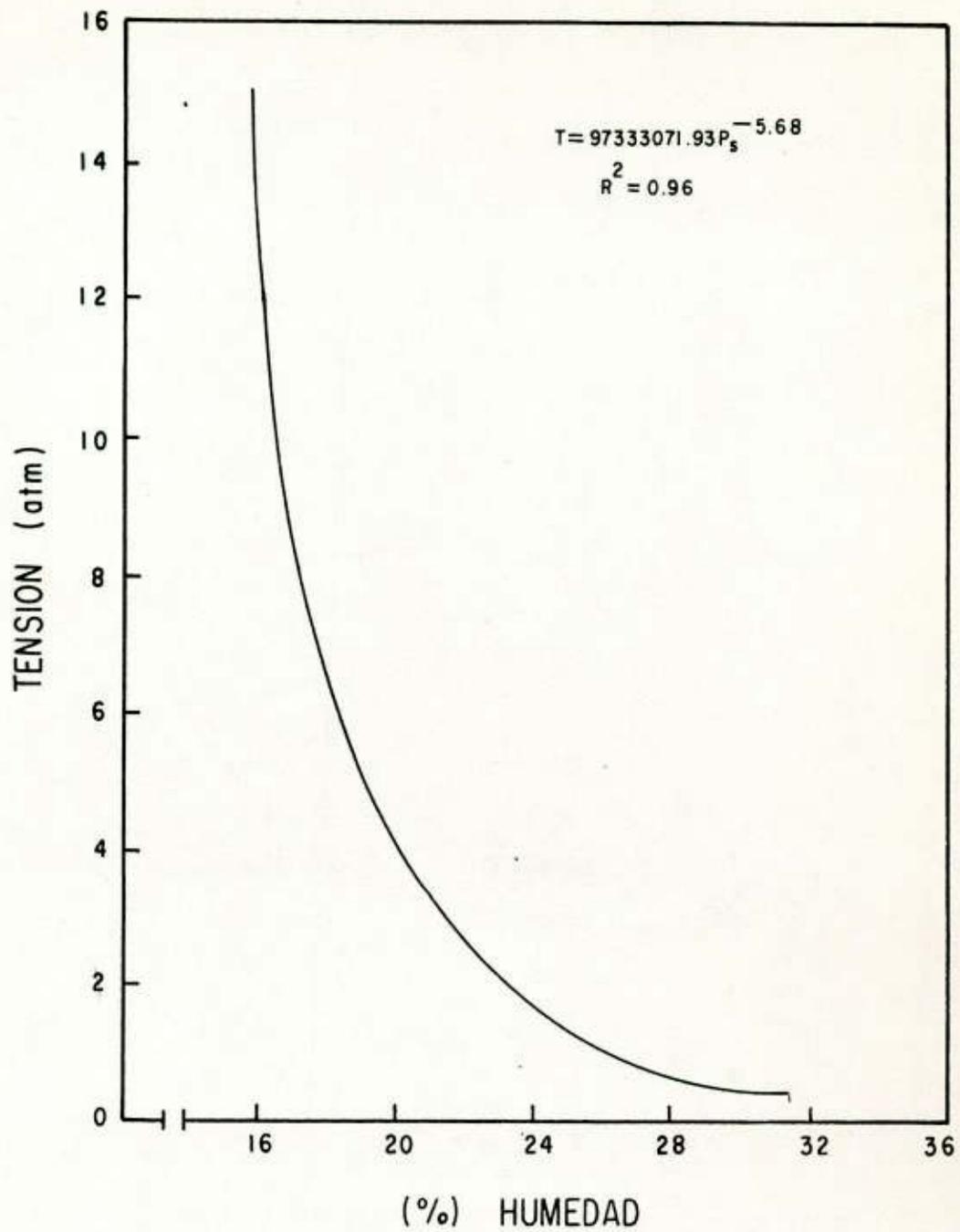


Figura 3. Curva de tensión de humedad del suelo en el lote experimental a la profundidad de 60—90 cm.

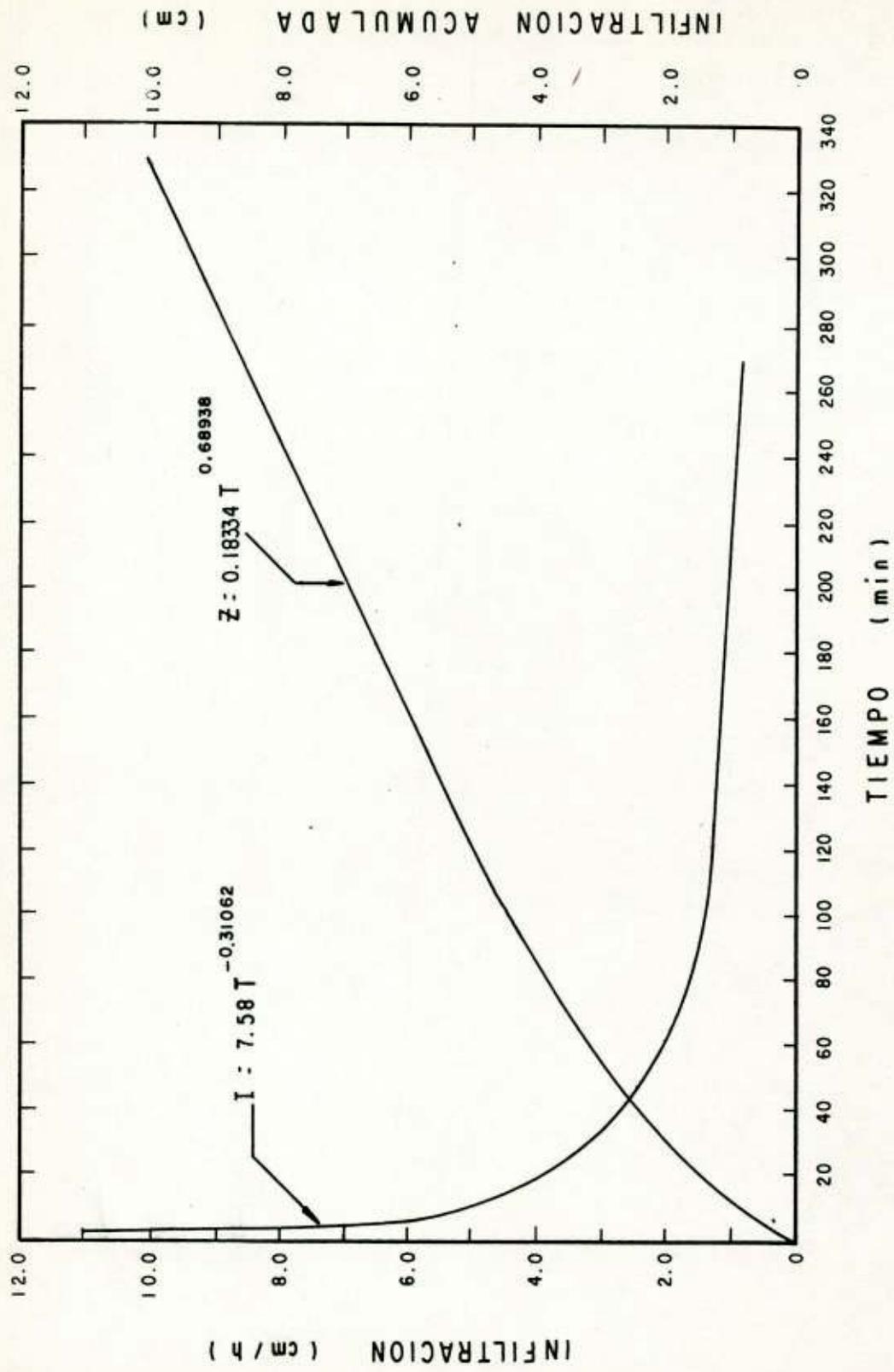


Figura 4.- Infiltración del agua en el suelo

CUADRO 6. CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA DE RIEGO

Concepto	Valor
CE x 10 ⁶	1100
pH	7.5
Ca ⁺⁺ (meq/l)	5.70
Mg ⁺⁺ (meq/l)	0.90
Na ⁺ (meq/l)	4.65
K ⁺ (meq/l)	0.25
<u>Cationes (meq/l)</u>	<u>11.50</u>
CO ₃ ⁼ (meq/l)	0.0
HCO ₃ ⁼ (meq/l)	3.40
Cl ⁻ (meq/l)	0.98
SO ₄ ⁼ (meq/l)	7.40
<u>Aniones (meq/l)</u>	<u>11.78</u>
SE (meq/l)	6.08
SP (meq/l)	4.68
RAS	2.56
CSR (meq/l)	0.0
PSP (%)	76.48
B (meq/l)	0.0
Ar (meq/l)	0.038
Dureza total (meq/l)	330
Alcalinidad total (mq/l)	110.40

① COMBINACION SELECCIONADA

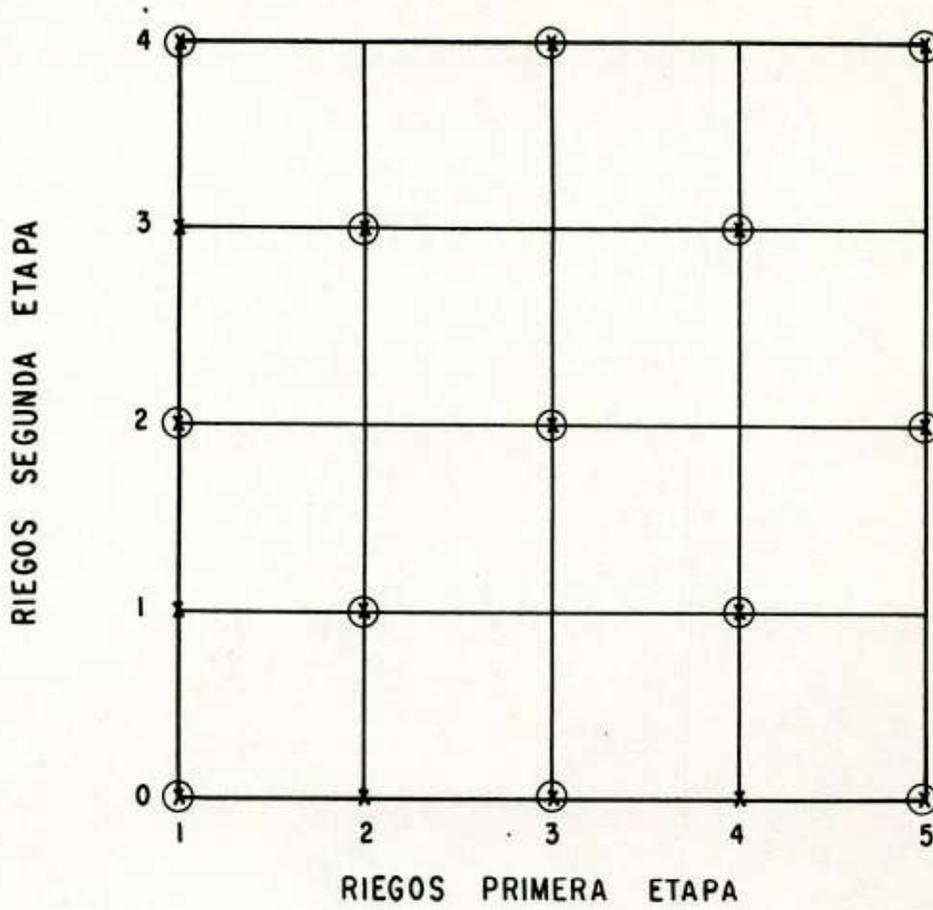


Figura 5. Cuadrado doble y selección de tratamientos

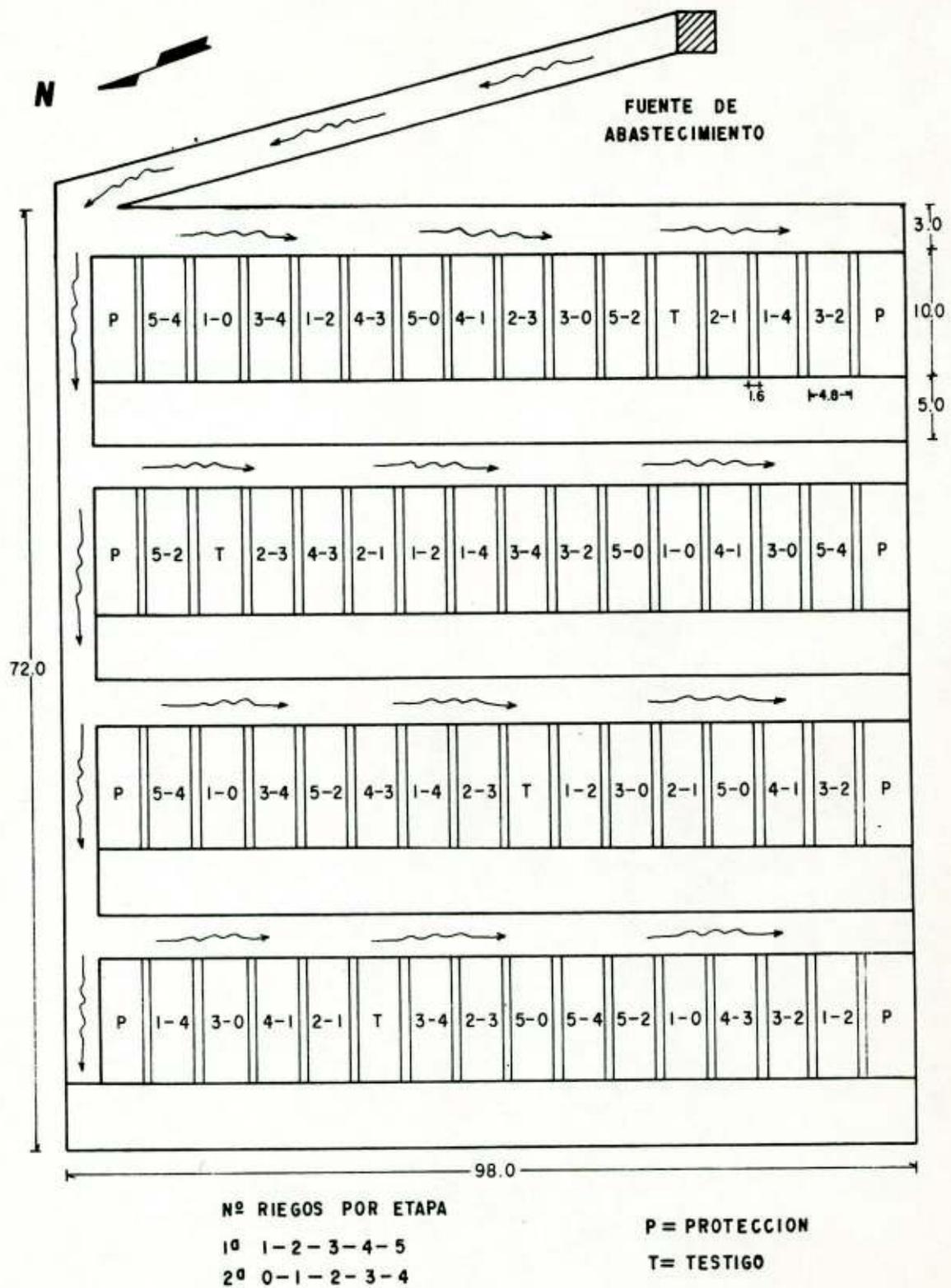


Figura 6. Distribucion y trazo de los tratamientos en el campo.

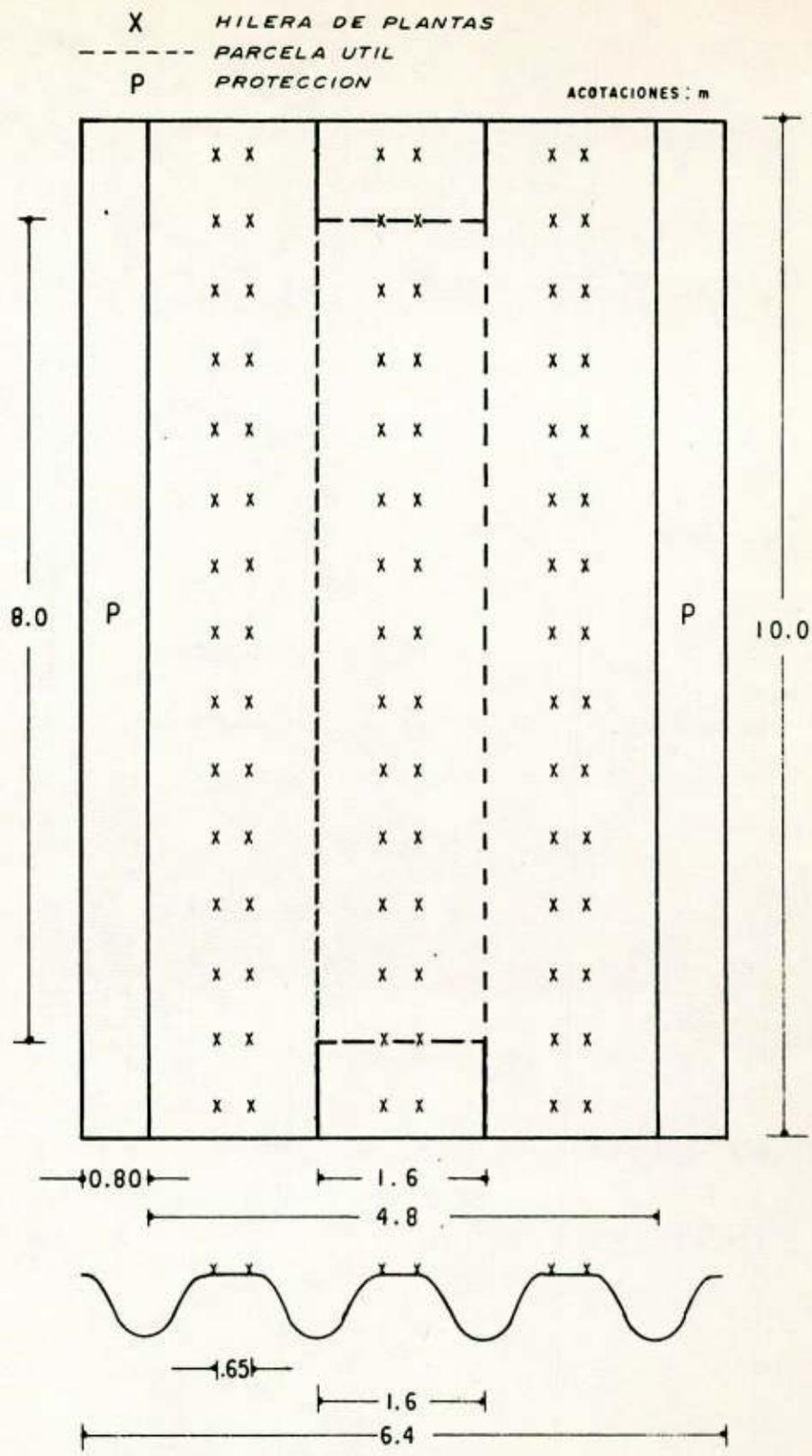


Figura 7. Detalle de la parcela experimental

CUADRO 7. COSTO DE PRODUCCION POR HECTAREA DEL CARTAMO PARA EL CICLO AGRICOLA 1982.

Actividad	Costo (\$/ha)
Permiso de siembra	50.00
Barbecho	990.00
Rastreo en seco	360.00
Empareje	250.00
Trazo de riego	250.00
Bardeo	500.00
Construcción de Regaderas	545.00
Levantamiento camas	685.00
Unión bordos	250.00
Rastreo en húmedo	475.00
Semilla certificada	270.00
Fertilizante	615.00
Siembra y fertilización	425.00
Escardas	670.00
Limpia de regaderas	500.00
Insecticidas	275.00
Aplicación de insecticidas	300.00
Trilla	1,000.00
Servicio entomológico	100.00
Acarreo por ton	200.00
Aplicación del riego	250.00
Costo del m ³ de agua	0.65

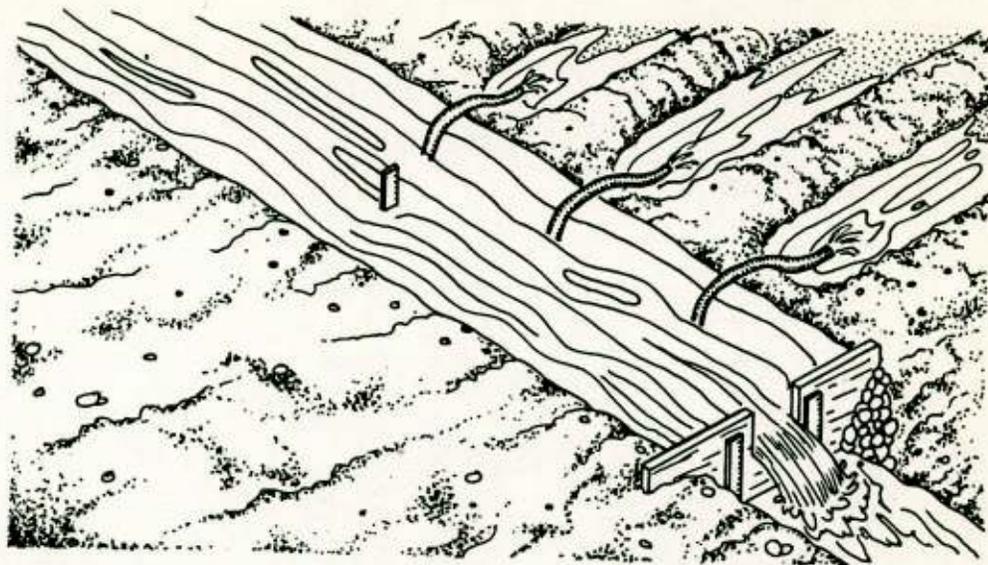


Figura 8. Control de la carga hidráulica

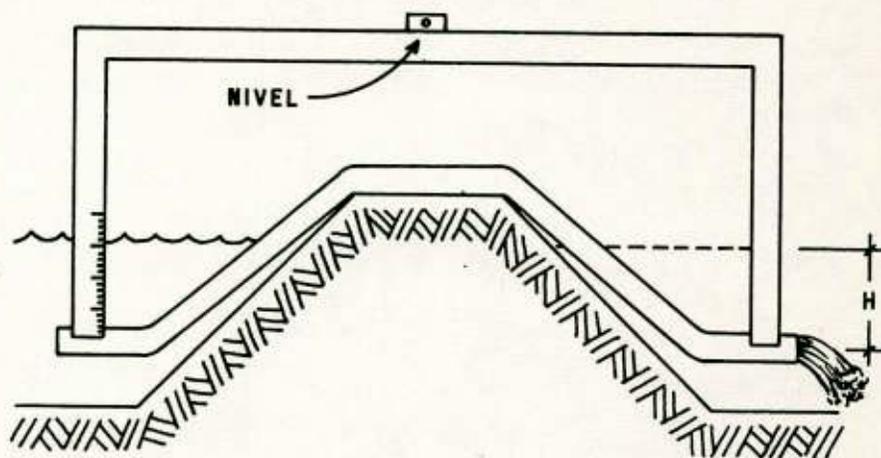


Figura 9. Calibración de sifones

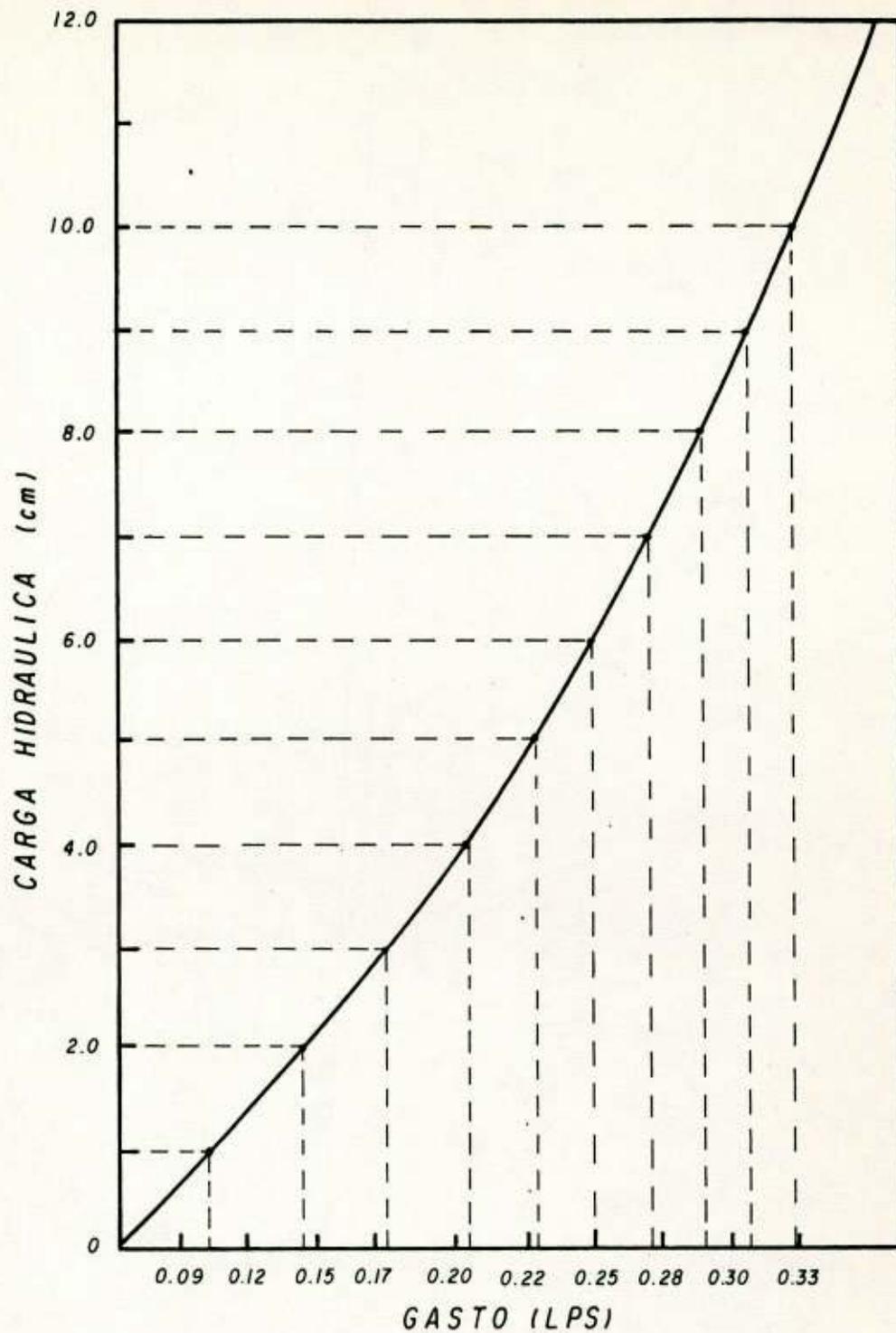


Figura 10. Curva carga hidráulica - gasto para sifones de aluminio de 1" de diámetro.

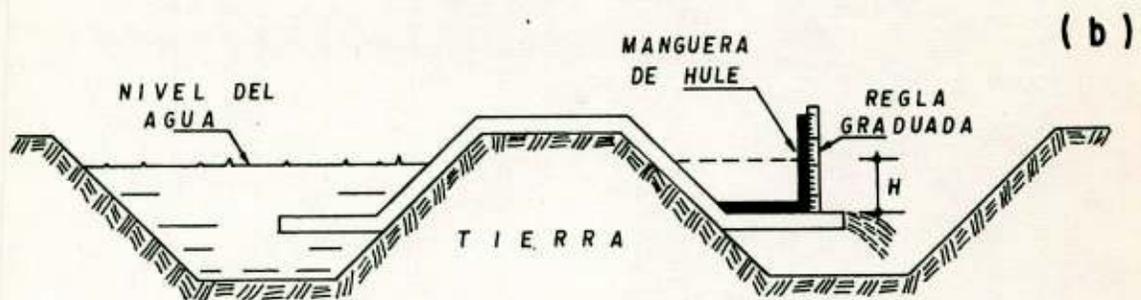
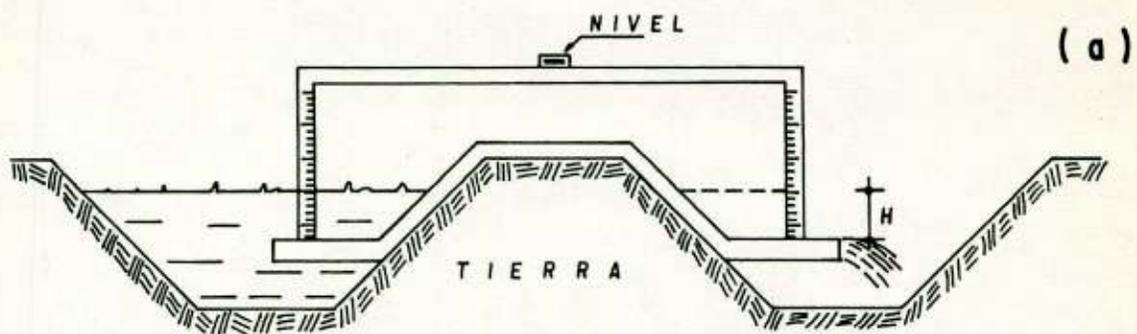


Figura 11. Medición de la carga hidráulica

CUADRO 8. DATOS CLIMATOLÓGICOS DURANTE EL CICLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE CARTAMO

Fecha	Días cultivo	T. Max. (°C)	T. Min. (°C)	T. Med. (°C)	Evap. (mm)	pp (mm)	Hr. (%)
7-1-82	1	27.0	3.0	15.0	4.06	0.0	47.0
8-1-82	2	16.0	4.5	10.25	4.43	0.0	73.5
9-1-82	3	19.0	5.0	12.0	2.71	0.0	53.0
10-1-82	4	22.0	6.5	14.25	2.43	0.0	58.5
11-1-82	5	15.5	7.0	11.25	1.82	0.0	62.5
12-1-82	6	26.0	7.5	16.75	6.87	0.0	55.0
13-1-82	7	24.0	9.0	16.5	7.79	0.0	34.5
14-1-82	8	15.5	-1.5	7.0	3.52	0.0	62.5
15-1-82	9	23.0	-1.5	10.75	3.69	0.0	56.0
16-1-82	10	24.0	1.0	12.5	3.70	0.0	56.5
17-1-82	11	25.0	3.5	14.25	3.42	0.0	48.0
18-1-82	12	28.0	-0.2	13.09	3.56	0.0	57.0
19-1-82	13	27.0	5.4	16.2	4.66	0.0	53.5
20-1-82	14	28.0	6.0	17.5	6.40	0.0	56.5
21-1-82	15	27.3	6.0	16.65	4.62	0.0	59.0
22-1-82	16	27.5	11.3	19.4	4.44	0.0	52.0
23-1-82	17	23.3	6.2	14.75	4.94	0.0	51.0
24-1-82	18	25.0	1.9	13.45	3.16	0.0	48.0
25-1-82	19	26.0	2.8	14.4	6.43	0.0	56.5
26-1-82	20	22.8	3.0	12.9	3.21	0.0	58.0
27-1-82	21	25.2	3.0	14.1	5.00	0.0	51.0
28-1-82	22	26.4	2.6	14.5	5.39	0.0	39.0
29-1-82	23	32.0	8.0	20.0	10.93	0.0	35.5
30-1-82	24	18.3	8.6	13.45	7.84	0.0	36.0
31-1-82	25	17.2	0.2	8.75	3.10	0.0	49.5
1-11-82	26	24.8	-1.2	11.8	5.67	0.0	49.5
2-11-82	27	20.2	1.8	11.0	6.51	0.0	51.0
3-11-82	28	20.5	1.2	10.85	3.64	0.0	51.0
4-11-82	29	24.8	-0.8	12.0	4.55	0.0	56.5
5-11-82	30	18.0	2.0	10.0	4.25	0.0	54.0
6-11-82	31	23.3	2.0	24.3	5.24	0.0	60.5
7-11-82	32	24.0	0.0	12.0	4.25	0.0	67.5

Continúa Cuadro 8.

Fecha	Días cultivo	T. Max. (°C)	T. Min. (°C)	T. Med. (°C)	Evap. (mm)	pp (mm)	Hr (%)
8-11-82	33	29.0	2.4	15.7	8.99	0.0	56.0
9-11-82	34	25.8	6.0	15.9	5.36	0.0	38.5
10-11-82	35	26.5	3.6	15.05	4.73	0.0	61.0
11-11-82	36	29.0	5.5	17.25	5.88	0.0	50.0
12-11-82	37	24.8	6.6	15.7	7.50	0.0	50.0
13-11-82	38	17.5	10.0	13.75	3.45	0.0	56.0
14-11-82	39	26.8	2.9	14.85	5.00	0.0	62.0
15-11-82	40	26.4	4.0	15.2	5.67	0.0	53.0
16-11-82	41	25.0	4.6	14.8	5.48	0.0	50.0
17-11-82	42	27.4	3.5	15.45	5.82	0.0	51.0
18-11-82	43	28.0	6.2	17.1	6.43	0.0	55.0
19-11-82	44	27.0	6.2	16.6	5.47	0.0	52.0
20-11-82	45	23.0	1.4	12.2	6.60	0.0	54.0
21-11-82	46	23.0	6.8	14.9	4.10	0.0	53.0
22-11-82	47	26.0	6.4	16.2	5.12	0.0	57.0
23-11-82	48	29.8	9.8	19.8	6.73	0.0	55.0
24-11-82	49	30.5	10.0	20.25	6.75	1.3	61.0
25-11-82	50	23.6	3.0	18.3	4.26	2.5	75.5
26-11-82	51	13.4	7.8	10.6	3.49	Inapreciable.	82.0
27-11-82	52	23.0	7.9	15.45	3.11	0.0	68.0
28-11-82	53	23.6	6.0	14.8	4.00	0.0	69.5
1-111-82	54	23.6	4.6	14.1	5.27	0.0	59.5
2-111-82	55	27.0	5.4	16.2	8.00	0.0	51.0
3-111-82	56	30.5	7.8	19.15	7.10	0.0	43.5
4-111-82	57	28.0	8.8	18.4	6.43	0.0	44.5
5-111-82	58	27.2	7.5	17.35	6.49	0.0	45.5
6-111-82	59	19.0	5.8	12.4	8.42	0.0	52.5
7-111-82	60	18.2	1.0	9.6	4.27	0.0	57.5
8-111-82	61	25.4	2.0	13.8	4.72	0.0	54.0
9-111-82	62	28.2	6.4	17.3	6.53	0.0	57.0
10-111-82	63	29.0	8.0	18.5	6.37	0.0	57.0
11-111-82	64	30.0	9.0	19.5	6.08	0.0	55.0

Continúa Cuadro 8,

Fecha	Días	T. Max. (°C)	T. Min. (°C)	T. Med. (°C)	Evap. (mm)	pp (mm)	Hr (%)
12-III-82	65.	33.2	10.6	21.9	7.66	0.0	53.5
13-III-82	66	31.8	12.0	21.9	8.35	0.0	54.0
14-III-82	67	32.0	11.0	21.5	8.21	0.0	45.0
15-III-82	68	32.8	9.6	21.2	10.53	0.0	35.5
16-III-82	69	31.8	15.2	23.5	8.31	0.0	38.5
17-III-82	70	32.6	11.6	22.1	8.23	0.0	39.0
18-III-82	71	34.2	13.4	23.8	9.15	0.0	40.0
19-III-82	72	34.2	15.6	24.9	9.94	0.0	37
20-III-82	73	35.1	11.8	23.45	8.11	0.0	45.0
21-III-82	74	34.5	14.3	24.4	6.95	0.0	43.0
22-III-82	75	30.6	13.0	21.8	6.69	0.0	47.0
23-III-82	76	29.6	12.2	20.9	7.54	0.0	44.0
24-III-82	77	28.6	16.2	22.4	5.37	0.0	47.5
25-III-82	78	29.6	11.4	20.5	7.72	0.0	55.5
26-III-82	79	28.4	11.0	19.7	6.15	0.0	70.0
27-III-82	80	31.6	12.4	22.0	6.84	0.0	66.0
28-III-82	81	26.8	10.6	18.7	5.57	0.0	71.5
29-III-82	82	33.3	11.8	22.55	9.14	0.0	63.75
30-III-82	83	32.8	12.5	22.65	11.17	0.0	59.5
31-III-82	84	33.0	12.0	22.5	8.39	0.0	57.0
1- IV-82	85	34.4	13.2	23.8	8.95	0.0	65.0
2- IV-82	86	33.8	16.6	25.2	7.35	0.0	44.0
3- IV-82	87	34.5	10.2	22.35	8.41	0.0	46.0
4- IV-82	88	34.8	11.5	23.15	8.89	0.0	61.5
5- IV-82	89	32.6	14.6	23.7	8.50	0.0	39.0
6- IV-82	90	34.2	13.5	23.85	8.83	0.0	58.5
7- IV-82	91	32.9	13.8	23.35	10.04	0.0	63.0
8- IV-82	92	31.8	16.8	24.3	9.84	0.0	42.75
9- IV-82	93	30.2	11.2	20.7	9.21	0.0	58.0
10- IV-82	94	32.0	12.8	22.4	10.45	0.0	52.0
11- IV-82	95	30.4	10.0	20.2	7.14	0.0	73.0
12- IV-82	96	33.4	13.0	23.2	7.23	0.0	61.0

Continúa Cuadro 8.

Fecha	Días cultivo	T. Max. (°C)	T. Min. (°C)	T. Med. (°C)	Evap. (mm)	pp (mm)	Hr (%)
13- IV-82	97	35.2	15.8	25.5	9.92	0.0	53.0
14- IV-82	98	34.4	16.0	25.2	9.84	0.0	52.0
15- IV-82	99	34.0	14.2	24.1	10.10	0.0	51.0
16- IV-82	100	32.6	13.6	23.1	9.42	0.0	53.0
17- IV-82	101	32.9	12.9	22.9	7.65	0.0	41.0
18- IV-82	102	34.2	15.0	24.6	8.06	0.0	60.5
19- IV-82	103	33.4	16.0	24.7	10.12	0.0	52.0
20- IV-82	104	32.0	16.0	48.0	9.21	0.0	44.0
21- IV-82	105	26.9	16.2	22.9	6.97	6.15	76.5
22- IV-82	106	21.8	10.9	16.35	3.35	0.3	83.5
23- IV-82	107	25.2	8.6	16.9	10.10	3.0	81.0
24- IV-82	108	24.2	10.0	22.1	3.54	0.0	73.0
25- IV-82	109	28.0	11.5	19.75	7.86	0.0	68.0
26- IV-82	110	30.9	8.2	19.55	6.33	0.0	65.0
27- IV-82	111	31.0	13.6	22.3	7.01	0.0	63.0
28- IV-82	112	30.0	15.2	22.6	6.06	0.0	64.0
29- IV-82	113	32.9	18.2	20.5	8.70	0.0	62.0
30- IV-82	114	28.2	14.4	21.3	8.09	0.0	61.5
1- V -82	115	28.0	13.2	20.6	7.20	0.2	66.5
2- V -82	116	29.0	15.8	22.4	7.42	0.0	64.5
3- V -82	117	30.4	12.8	21.6	7.16	0.0	55.5
4- V -82	118	33.2	13.8	23.5	9.57	0.0	58.0
5- V -82	119	31.8	17.6	24.7	9.95	0.0	51.5
6- V -82	120	27.8	15.2	21.5	7.80	0.0	30.0
7- V -82	121	29.0	11.8	20.4	9.98	0.0	56.0
8- V -82	122	32.5	11.5	22.0	9.85	0.0	53.5
9- V -82	123	33.4	11.0	22.2	7.50	0.0	53.0
10- V-82	124	31.6	11.2	21.4	6.49	0.0	35.5
11- V-82	125	30.6	19.0	24.8	8.12	0.0	39.5
12- V-82	126	32.6	21.4	26.5	9.93	0.0	35.0
13- V-82	127	30.8	14.4	22.6	9.32	0.0	38.5
14- V-82	128	30.8	13.6	22.2	8.72	0.0	39.5

Continúa Cuadro 8.

Fecha	Días cultivo	T. Max. (°C)	T. Min. (°C)	T. Med. (°C)	Evap. (mm)	pp (mm)	Hr (%)
15-V-82	129	34.2	15.2	24.2	8.72	0.0	48.0
16-V-82	130	32.4	15.8	24.1	8.71	0.0	56.0
17-V-82	131	33.2	16.6	24.9	11.25	0.0	50.5
18-V-82	132	33.5	15.4	24.9	9.70	0.0	56.0
19-V-82	133	33.8	15.6	24.7	9.73	0.0	55.0
20-V-82	134	28.7	17.4	23.5	5.02	Inapreciable	65.0
21-V-82	135	30.2	13.3	21.8	8.04	0.0	61.0
22-V-82	136	32.8	14.8	23.8	9.32	0.0	55.5
23-V-82	137	32.4	19.4	25.9	7.59	0.7	57.5
24-V-82	138	32.2	16.6	24.4	7.97	0.0	60.0
25-V-82	139	35.6	17.6	26.6	9.22	0.0	56.0
26-V-82	140	36.6	18.8	27.7	10.03	0.0	53.0
27-V-82	141	37.0	21.2	29.1	11.84	0.0	50.0
28-V-82	142	34.0	17.4	25.7	10.80	0.0	42.0
29-V-82	143	36.8	23.4	30.1	9.83	0.0	54.0
30-V-82	144	36.6	21.4	29.0	10.44	0.0	57.0
31-V-82	145	37.6	18.2	27.9	10.72	0.0	43.5
1-VI-82	146	38.0	22.8	30.4	13.69	0.0	52.0
2-VI-82	147	37.2	17.2	27.2	13.06	0.0	53.5
3-VI-82	148	37.4	24.0	30.7	11.48	0.0	46.5
4-VI-82	149	36.8	17.4	27.1	10.62	0.0	55.0
5-VI-82	150	40.4	15.8	28.1	12.06	0.0	48.0
6-VI-82	151	39.2	21.8	30.0	13.76	0.0	44.0
7-VI-82	152	35.4	19.4	27.4	8.64	0.0	52.0
8-VI-82	153	36.2	19.0	27.6	10.06	0.0	60.5
9-VI-82	154	36.0	19.4	27.7	9.57	0.0	51.5
10-VI-82	155	36.2	20.4	28.3	12.10	0.0	47.0
11-VI-82	156	35.2	20.8	28.0	10.63	0.0	47.5
12-VI-82	157	34.6	14.2	24.4	10.30	0.0	48.75
13-VI-82	158	34.6	15.4	25.0	9.50	0.0	57.0
14-VI-82	159	35.6	16.4	26.0	9.28	0.0	53.0
15-VI-82	160	36.0	19.2	27.6	11.76	0.0	54.0

TRATAMIENTO	RIEGO DE PRESIEMBRA		2º RIEGO		3er RIEGO		4º RIEGO		5º RIEGO		TOTAL	
	LAM. APL. (cm)	INT. EVAP. (días) (mm)	LAM. APL. (cm)	INT. EVAP. (días) (mm)	LAM. APL. (cm)	INT. EVAP. (días) (mm)	LAM. APL. (cm)	INT. EVAP. (días) (mm)	LAM. APL. (cm)	INT. EVAP. (días) (mm)	LAM. APL. (cm)	EVAP. (mm)
1-0	13.7	0 0									13.7	435
1-2	13.7	0 0									13.7	"
1-4	13.7	0 0									13.7	"
2-1	13.7	0 0	11.9	60 218							25.6	"
2-3	13.7	0 0	11.9	60 218							25.6	"
3-0	13.7	0 0	10.3	51 154	11.1	22 156					35.1	"
3-2	13.7	0 0	10.3	51 154	11.1	22 156					35.1	"
3-4	13.7	0 0	10.3	51 154	11.1	22 156					35.1	"
4-1	13.7	0 0	9.5	43 130	8.1	17 98	9.2	18 101			40.5	"
4-3	13.7	0 0	9.5	43 130	8.1	17 98	9.2	18 101			40.5	"
5-0	13.7	0 0	9.0	37 87	7.4	16 86	8.1	21 95	7.9	12 84	46.1	"
5-2	13.7	0 0	9.0	37 87	7.4	16 86	8.1	21 95	7.9	12 84	46.1	"
5-4	13.7	0 0	9.0	37 87	7.4	16 86	8.1	21 95	7.9	12 84	46.1	"
T	20	0 0	15	64 130							35.0	"

CUADRO 9. LAMINAS APLICADAS, INTERVALO Y EVAPORACION ENTRE RIEGOS PARA LA PRIMER ETAPA.

TRATA- MIENTO	1er RIEGO		2º RIEGO		3er RIEGO		4º RIEGO		TOTAL	
	LAM. APL. (cm)	INT. EVAP. (días)(mm)								
1 - 0									0.0	808
1 - 2	15.2	92 436	16.3	48 389					31.7	"
1 - 4	15.2	92 436	14.5	23 204	15.4	25 194	18.4	21 209	63.4	"
2 - 1	13.2	32 213.5							13.2	"
2 - 3	13.2	32 213.5	16.7	33 270	14.9	29 267			44.8	"
3 - 0									0.0	"
3 - 2	11.3	19 117	16.5	40 389					27.8	"
3 - 4	11.3	19 117	18.2	23 204	15.6	25 194	18.2	21 209	63.3	"
4 - 1	10.3	15 105							10.3	"
4 - 3	10.3	15 105	16.3	33 270	14.1	29 267			40.7	"
5 - 0									0.0	"
5 - 2	8.1	10 84	15.9	48 389					24.0	"
5 - 4	8.1	10 84	15.4	23 204	15.5	25 194	18.1	21 209	57.1	"
T	15	25 174	15.0	20 161					30	"

CONTINUACION CUADRO 9. SEGUNDA ETAPA

CUADRO 10. ANALISIS DE VARIANZA PARA RENDIMIENTO EN GRANO.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	
Bloques	3	2217431.05	739143.18	3.46	*
Tratamientos	13	3274908.87	2519160.22	11.81	**
Error	39	8318565.19	213296.54		
Total	55	432805079.12	787001.44		

CV = 10.0 %

CUADRO 11. ANALISIS DE VARIANZA PARA INGRESO NETO

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	
Bloques	3	308755099.89	102918366.63	3.46	*
Tratamientos	13	365088670.61	280835282.35	9.46	**
Error	39	1158277017.95	29699410.72		
Total	55	5117890788.46	93052559.79		

CV = 13.7 %

* = Significativo

** = Altamente significativo.

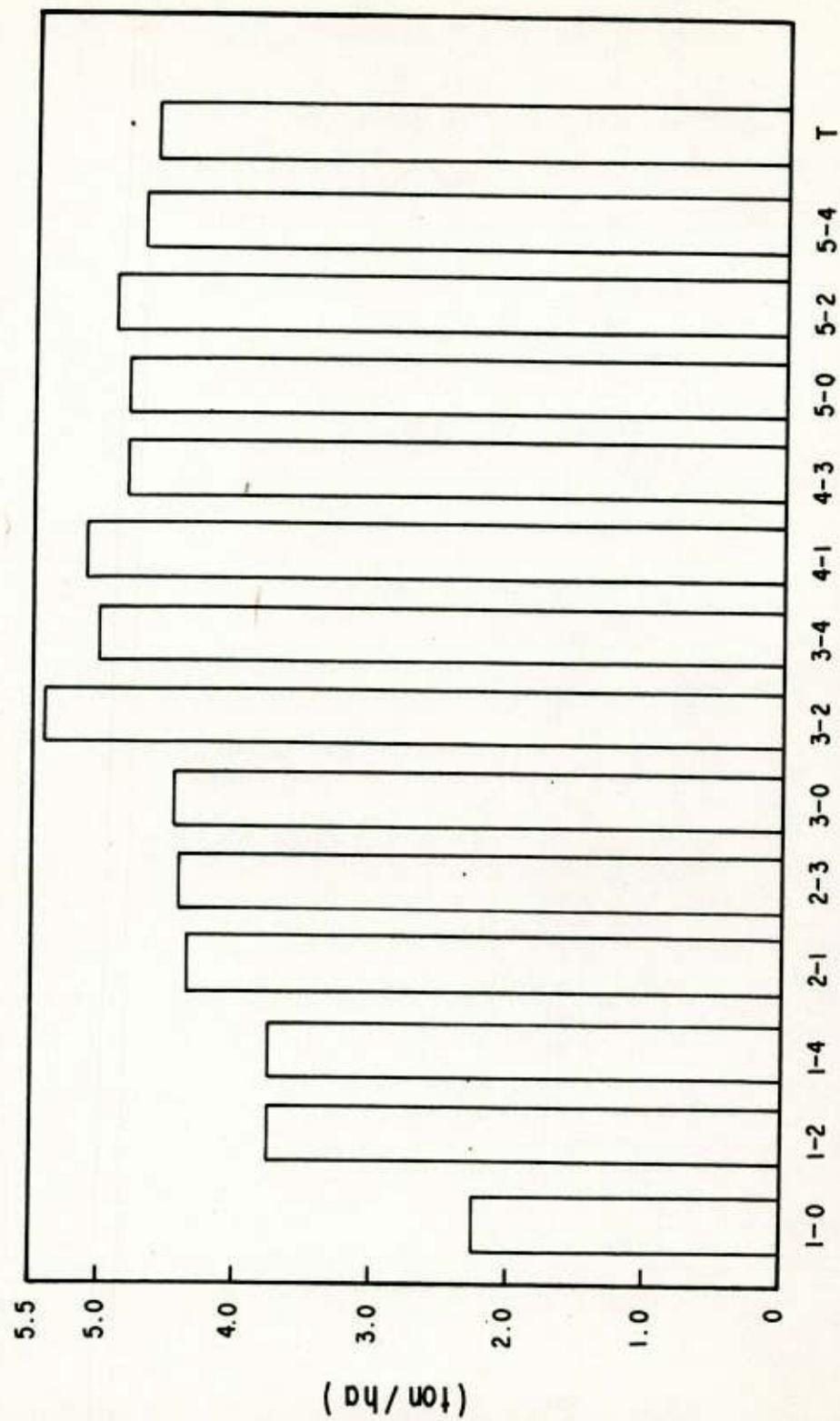


Figura 12. Rendimiento en grano

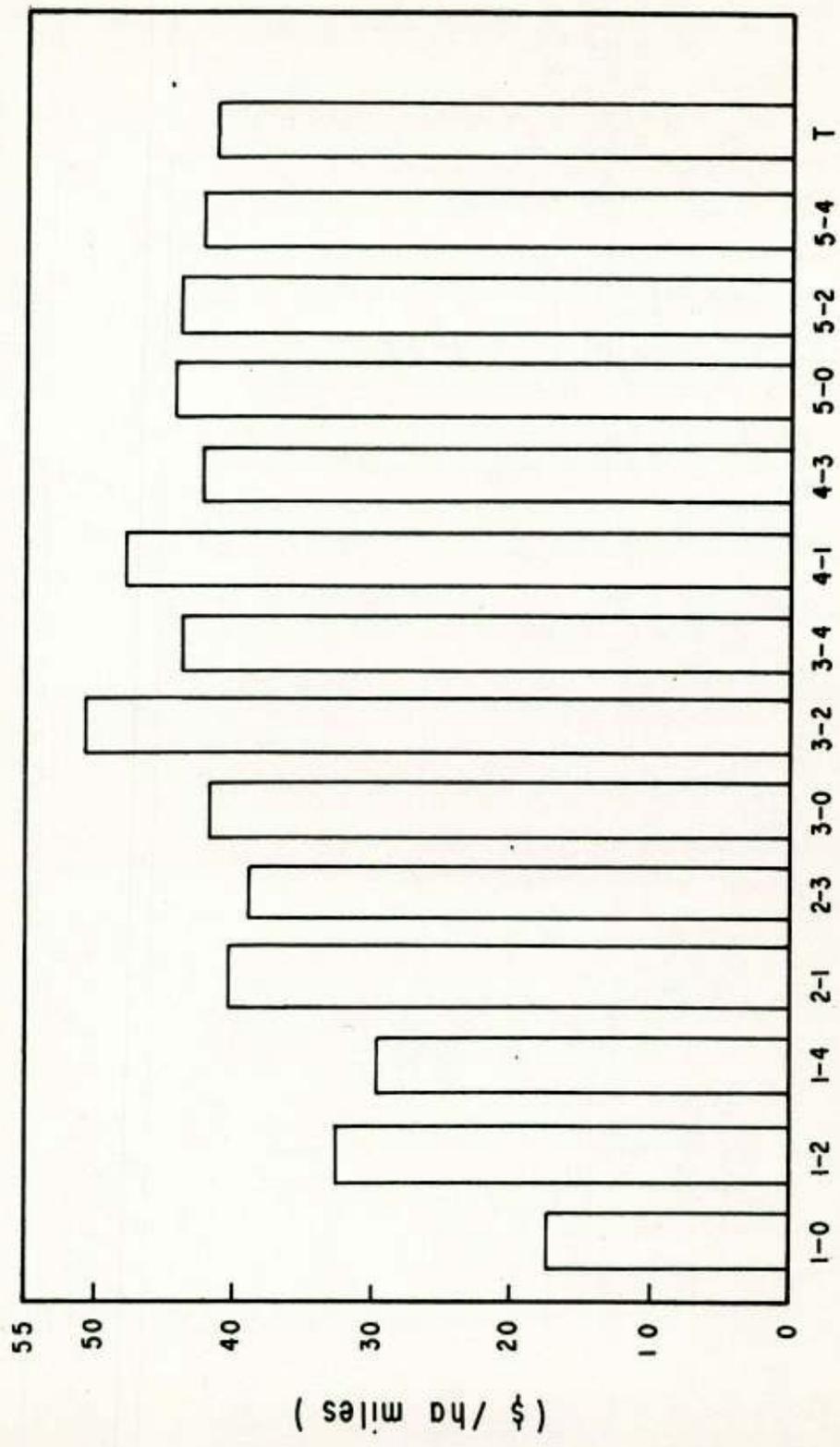
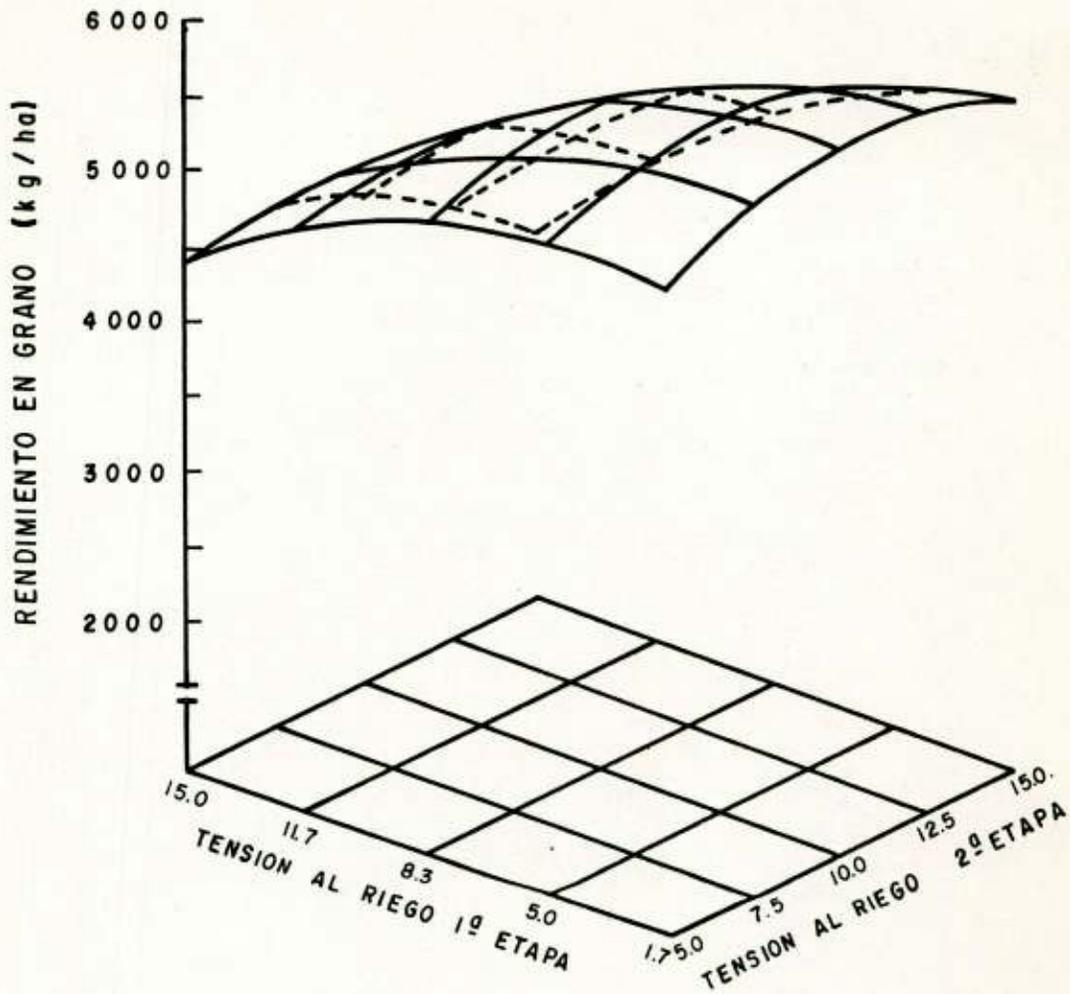


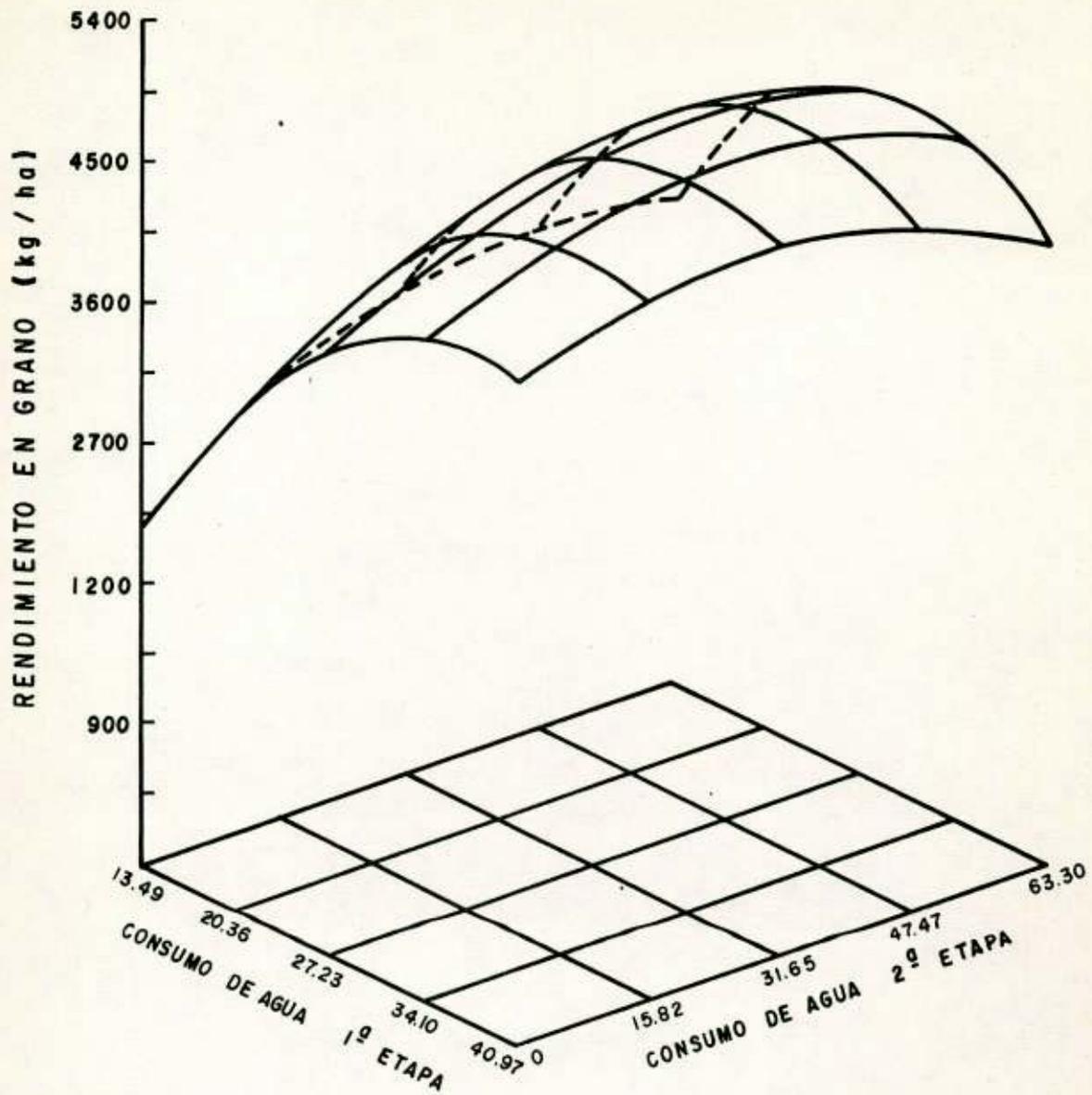
Figura 13. Ingreso neto



$$R = 3337.36 + 117.94 T_1 + 333.75 T_2 - 8.52 T_1^2 - 15.10 T_2^2 - 9.45 T_1 T_2$$

$$R^* = 5187 \text{ kg/ha} \quad T_1^* = 1.0 \text{ atm} \quad T_2^* = 10.7 \text{ atm} \quad r^2 = 0.65$$

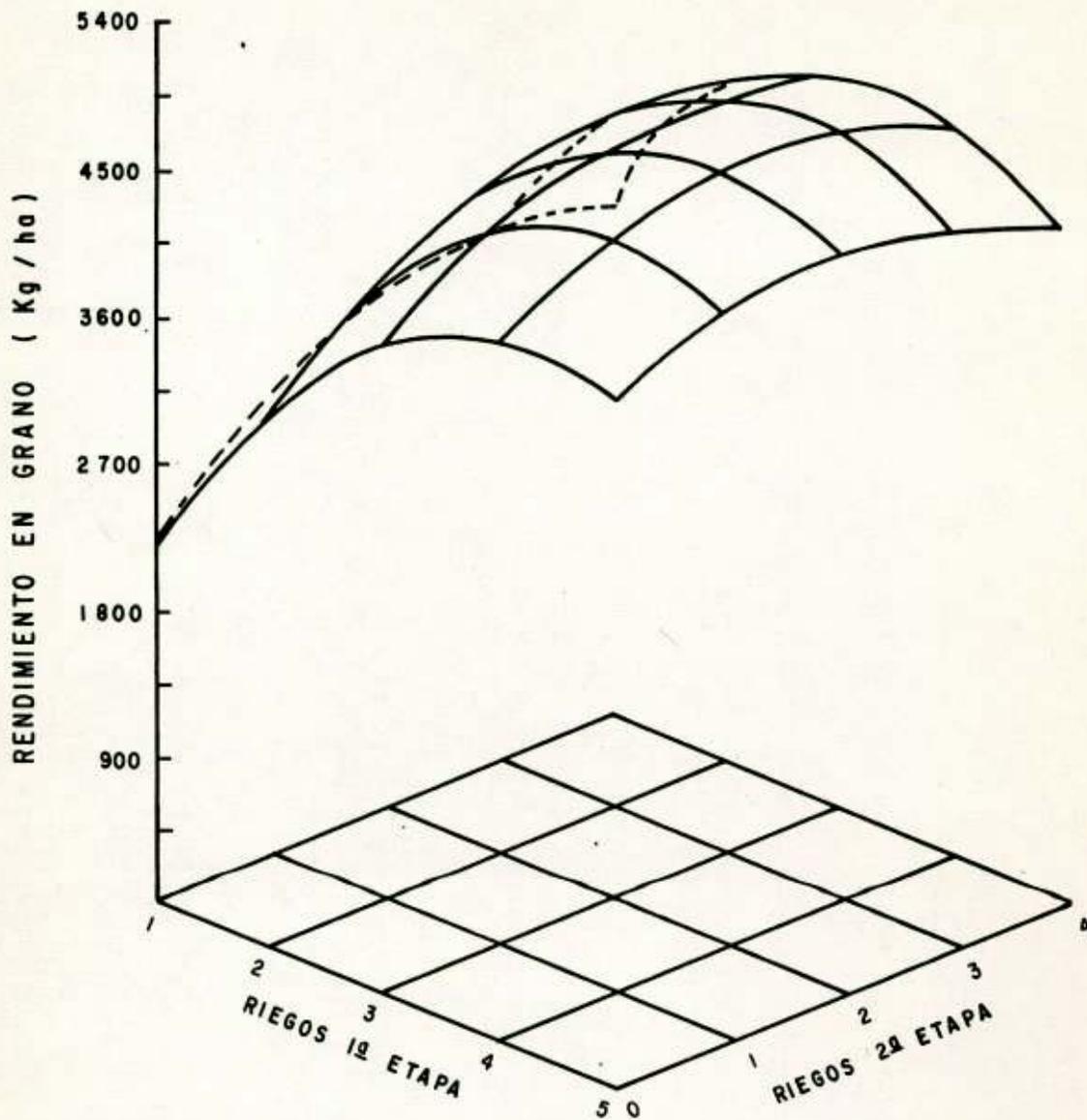
Figura 14. Superficie de respuesta de la función rendimiento en grano y tensión al riego.



$$R = 929.18 + 301.19CA_1 + 61.24 CA_2 - 3.97CA_1^2 - 0.43CA_2^2 - 0.93 CA_1 CA_2$$

$$CA^* = 33.8 \quad CA^* = 34.5 \quad y^* = 52.30 \quad r^2 = 0.71$$

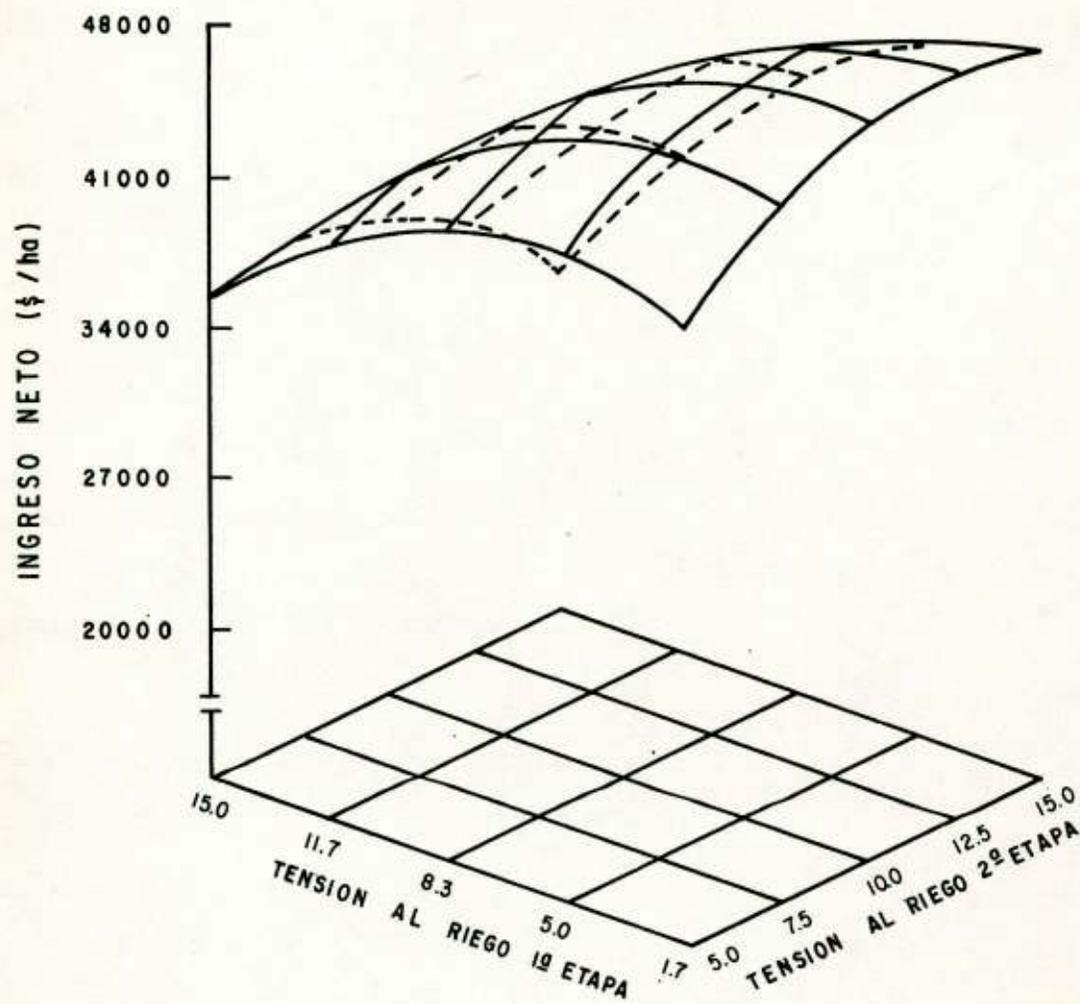
Figura 15. Superficie de respuesta de la función rendimiento en grano y consumo de agua.



$$R = 865.80 + 1820.83 X_1 + 820.06 X_2 - 209.55 X_1^2 - 101.24 X_2^2 - 91.86 X_1 X_2$$

$$X_1^* = 3.8 \quad X_2^* = 2.3 \quad R^* = 5300 \text{ kg/ha} \quad r^2 = 0.71$$

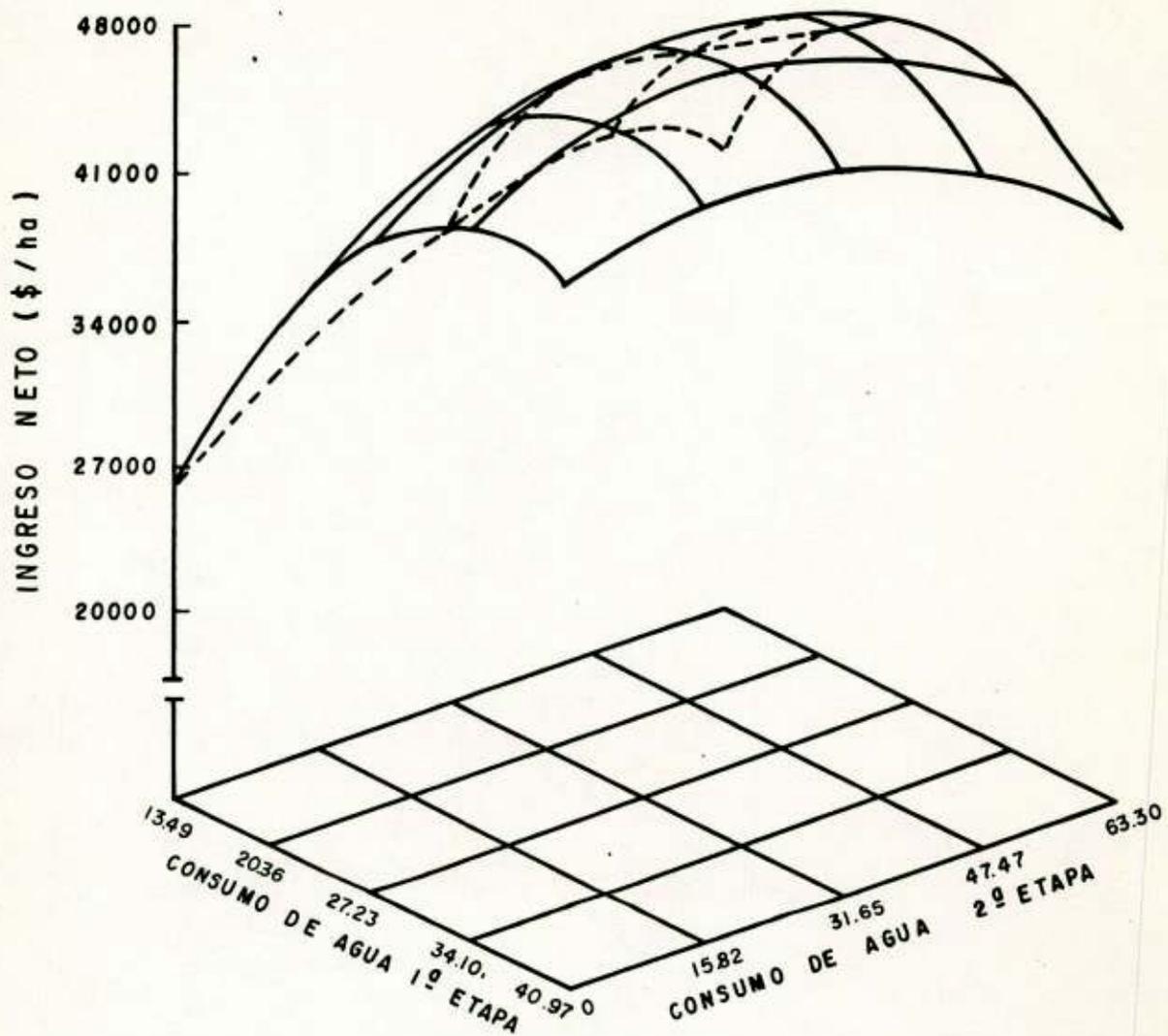
Figura 16. Superficie de respuesta de la función rendimiento en grano y número de riegos.



$$IN = 21465.85 + 1716.82 T_1 + 3988.01 T_2 - 111.35 T_1^2 - 159.66 T_2^2 - 108.51 T_1 T_2$$

$$IN^* = 46720 \quad T_1^* = 2 \text{ atm} \quad T_2^* = 11.83 \quad r^2 = 0.61$$

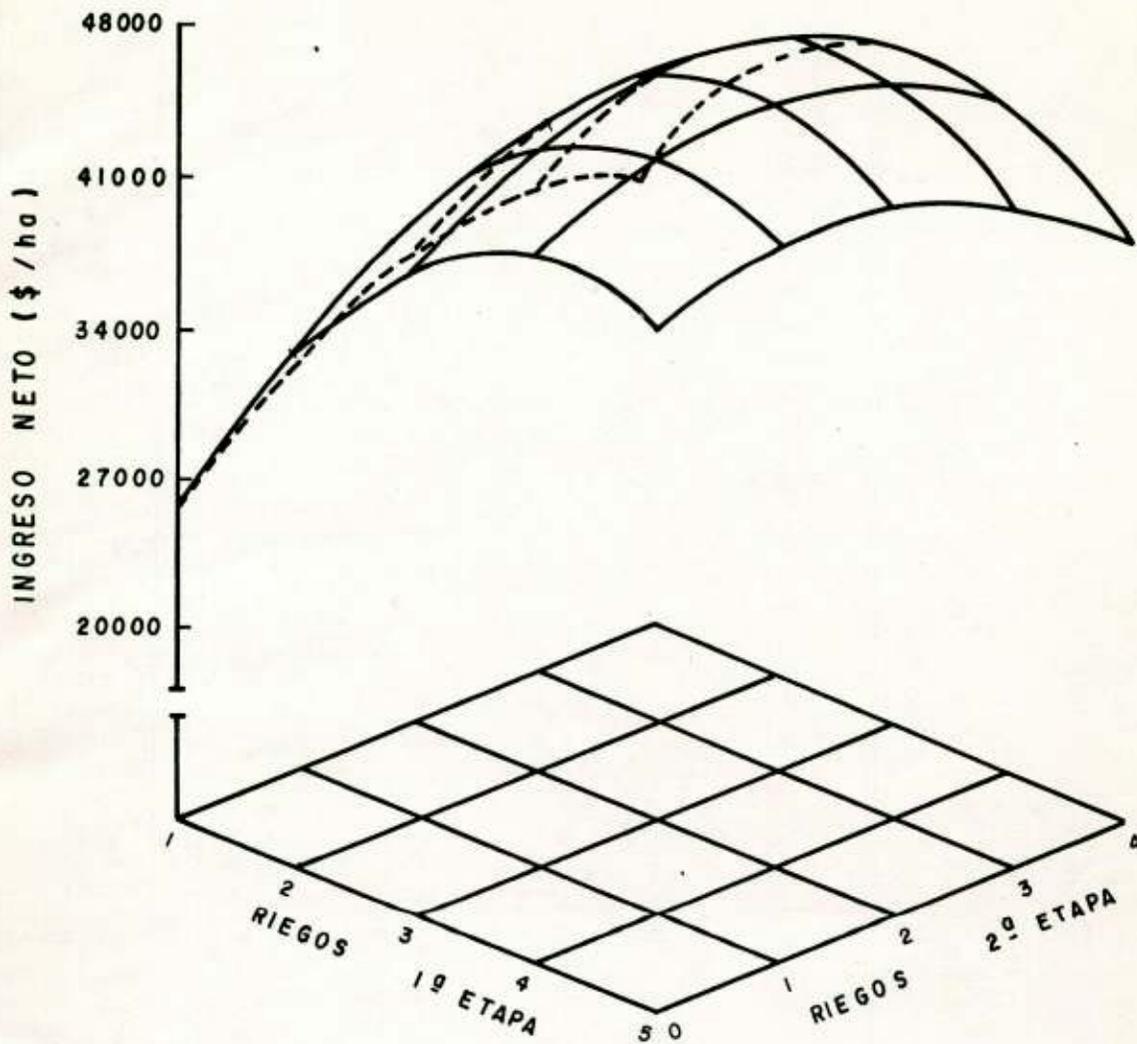
Figura 17. Superficie de respuesta de la función ingreso neto y tensión al riego.



$$IN = -19298.09 + 3486.62CA_1 + 637.19CA_2 - 47.56CA_1^2 - 4.98CA_2^2 - 10.99CA_1CA_2$$

$$CA_1^* = 33.0 \quad CA_2^* = 27.0 \quad IN^* = 47.740 \quad r^2 = 0.71$$

Figura 18. Superficie de respuesta de la función ingreso neto y consumo de agua.



$$\begin{aligned}
 IN &= 1746.12 + 20475.93 X_1 + 8615.89 X_2 - 2414.69 X_1^2 - 1256.37 X_2^2 - 1061.44 X_1 X_2 \\
 X_1^* &= 3.8 \quad X_2^* = 1.8 \quad IN^* = 48.864 \quad r^2 = 0.66
 \end{aligned}$$

Figura 19. Superficie de respuesta de la función ingreso neto y número de riegos.