

OPTIMIZACION DEL AGUA EN SISTEMAS DE  
PRODUCCION DE SORGO PARA GRANO  
REGADOS POR TURNOS FIJOS EN EL  
NORTE DE COAHUILA

ALEJANDRO RODRIGUEZ GUILLEN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN RIEGO Y DRENAJE



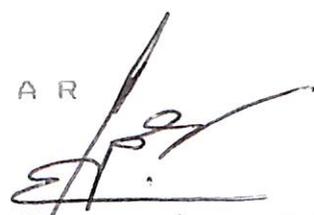
Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro  
PROGRAMA DE GRADUADOS  
Buenavista, Saltillo, Coah.  
DICIEMBRE DE 1992

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular  
de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar  
al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN RIEGO Y DRENAJE

COMITE PARTICULAR

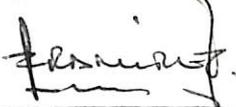
Asesor Principal:

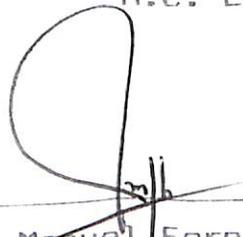
  
M.C. Gregorio Briones Sanchez

Asesor:

  
Ph.D. Enrique Navarro Guerrero

Asesor:

  
M.C. Luis Edmundo Ramirez Ramos

  
Ph.D. José Manuel Fernández Brondo  
Subdirector de Asuntos de Postgrado

Universidad Autónoma de Coahuila  
"ANTONIO NAJERA"

Buenavista, Saltillo, Coah., Diciembre de 1992.



BIBLIOTECA

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, por darme la oportunidad de adquirir una formación como profesionista e investigador agrícola.

A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" y a mis maestros, por proporcionarme nuevos conocimientos para un mejor desempeño en el desarrollo de mi profesión.

Al M.C. Gregorio Briones Sánchez, por su acertada asesoría y consejos en la realización de este estudio.

Al Ph.D. Enrique Navarro Guerrero, por sus excelentes sugerencias y constante apoyo en esta investigación.

Al M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos, por sus valiosas aportaciones para la realización del estudio.

Al Ph.D. José M. Fernández Brondo, por el apoyo y estímulos brindados para finalizar exitosamente mi Maestría.

A mis amigos y compañeros de estudio Rafael Magallanes Quintanar y Luis Humberto Maciel Pérez, quienes por su dedicación y ejemplo de superación me motivaron a culminar satisfactoriamente los estudios de Maestría.

## DEDICATORIA

A mis padres: Francisco Rodriguez y Soledad Guillén

Con todo mi amor y eterno agradecimiento por darme la gran oportunidad de obtener una profesion y de superarme personalmente.

A mis hermanos: Eva Ma. Soledad Ma. Eugenia  
Salvador Josefina Lupita  
Ma. del Carmen Francisco Martin  
Ma. de Lourdes Luis Carlos  
Magdalena Rafael

Por su amor fraternal y por su constante estímulo para finalizar mis estudios.

A mi esposa: Patricia Gonzalez

Por su gran amor e indispensable compañía y por su invaluable apoyo y motivación para mi realización personal.

A mis hijos: Laura Patricia  
Alejandra Edith  
Manuel Alejandro

Por ser la fuente inagotable de mis alegrías y el gran estímulo que me motiva a buscar una íntegra superación personal para el bienestar de mi familia.

COMPENDIO

OPTIMIZACION DEL AGUA EN SISTEMAS DE PRODUCCION DE SORGO  
PARA GRANO REGADOS POR TURNOS FIJOS EN EL NORTE DE COAHUILA.

POR

Alejandro Rodriguez Guillén

MAESTRIA

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. DICIEMBRE DE 1992

M.C. Gregorio Briones Sanchez - Asesor -

Palabras Clave: Optimización, sistemas de producción, sorgo  
para grano, riegos, turnos fijos (dulas).

La región norte del Estado de Coahuila se caracteriza porque es común el uso de agua de manantiales para la producción de cultivos y porque la distribución del agua se realiza por turnos fijos (denominados dulas) cada 15, 17 o 30 días; sistema que fue establecido por los colonizadores españoles hace aproximadamente 250 años.

Este estudio se realizó con la finalidad de optimizar el aprovechamiento del agua, distribuida por turnos fijos cada 15 días, seleccionando el sistema de producción de sorgo que maximiza el ingreso neto de la unidad productiva bajo las condiciones agroecológicas del norte de Coahuila. El experimento consistió en la evaluación de cuatro módulos (sistemas de producción), diseñados con la siembra escalonada cada 15 días de dos, dos, tres y cuatro lotes/sistema durante el periodo de siembras; en cada módulo se aplicaron ocho dulas durante el ciclo vegetativo, que se distribuyeron respectivamente en cuatro riegos alternos, y cuatro, tres y dos riegos secuenciales. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones.

Los resultados indican que hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de los tratamientos en todas las variables de respuesta medidas en planta, excepto en altura final de planta. El tratamiento de tres riegos aplicados secuencialmente a tres lotes (3Rs/3L) fue el que obtuvo la mayor producción de grano, tanto unitaria como acumulada, con 4.6 ton/ha y 55.4 ton/sistema, respectivamente. Este tratamiento superó significativamente ( $P \leq 0.01$ ) a todos los demás y fue el que optimizó el aprovechamiento de agua en función del ingreso neto (10.4 millones de pesos en un módulo equivalente a 12 ha), superando en más de 100 por ciento a los otros tratamientos.

ABSTRACT

Water Optimization in Grain Sorghum Production Systems  
Irrigated by Fixed Frequencies in the Northern Region of  
Coahuila.

BY

Alejandro Rodriguez Guillen

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. DECEMBER OF 1992.

M.C. Gregorio Briones Sanchez - Adviser -

Key Words: Water optimization, production systems, grain  
sorghum, fixed frequencies of irrigation (dulas).

The northern region of Coahuila is characteristic  
because farmers commonly use spring water in their field  
crops and organization system to divert this water by fixed  
turns (named dulas) each 15, 17 or 30 days, which was

established by spaniard settlers 250 years ago.

This study was conducted in order to optimize the flowing water use, diverted by fixed frequencies each 15 days, selecting the sorghum production system that maximizes the net incomes under such agroecological conditions.

Four sorghum production systems were evaluated cropping plots each 15 days within the seeding season. Four, four, three and two irrigations were applied to two, two, three and four plots, respectively. Treatments were evaluated under a Randomized Complete Block Design (RCBD), with four replicates for each treatment.

Results indicated that all response variables evaluated in plant, shown significant differences ( $P \leq 0.05$ ) due to treatments effect, except plant height. Greatest grain yields, per area unit and accumulated, were obtained with three sequential irrigations applied to three plots (55.4 ton/module and 4.6 ton/ha) and significantly exceeded the other treatments. Furthermore, water utilization was optimized by this treatment because yields net incomes of 10.4 millions of mexican pesos in a 12 ha module and exceeded in more than 100 per cent the other treatments.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	5
Importancia del Agua y de la Eficiencia en su Utilización.....	5
Riego con Déficit Controlado.....	10
Estudios de Optimización y Simulación.....	11
Fases Fenológicas Críticas y Efectos del Déficit de Agua Sobre el Cultivo.....	17
3. MATERIALES Y METODOS.....	30
Características del Sitio Experimental.....	30
Localización.....	30
Clima.....	30
Suelo.....	33
Agua.....	33
Genotipo.....	35
Tratamientos Evaluados y Diseño Experimental.....	36
Análisis Estadístico.....	38
Análisis Económico.....	41
Ingreso neto por sistema de producción.....	41

Valor de la producción.....	41
Costos variables del riego.....	42
Establecimiento del Experimento.....	47
Manejo del Cultivo.....	47
Preparación del terreno.....	47
Siembra.....	48
Fertilización.....	48
Riegos.....	48
Variables de Respuesta Evaluadas a Cosecha.....	49
Altura Final.....	49
Materia Seca.....	50
Peso de Mil Granos.....	50
Producción de Grano.....	50
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	52
Altura Final de Planta.....	54
Peso de Mil Granos.....	56
Producción de Materia Seca.....	57
Producción de Grano.....	60
Maximización del Ingreso Neto.....	65
Sistema de Producción más Productivo.....	68
Esquema Operativo para Manejo de Agua.....	69
5. CONCLUSIONES.....	72
6. RESUMEN.....	74
7. LITERATURA CITADA.....	77
APENDICE A.....	80
APENDICE B.....	85

## INDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Pagina
3.1. Condiciones climaticas prevalecientes durante el ciclo vegetativo del cultivo en el experimento de riegos por dulas en sorgo para grano.....	32
3.2. Costos de producción de sorgo para grano durante el subciclo agrícola primavera de 1991.....	43
4.1. Significancia estadística de los tratamientos para cada una de las variables de respuesta evaluadas en planta.....	53
4.2. Producción unitaria y acumulada de grano e ingreso neto obtenidos con cada uno de los sistemas de producción de sorgo evaluados en el estudio.....	65

## INDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
3.1.	Localización geográfica del sitio experimental donde se realizó el trabajo de campo.....31
3.2.	Curva característica de retención de humedad del suelo, estrato 0-90 cm, en el sitio donde se realizó el experimento.....34
3.3.	Croquis del experimento de sorgo establecido en Zaragoza, Coah., donde se muestra la fecha de siembra, el número de parcela, los tratamientos evaluados y las dimensiones del lote.....37
4.2.	Altura final de planta de cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento de riego por dulas en sorgo para grano.....55
4.3.	Peso de mil granos, gr, de cada uno de los tratamientos de riego por dulas en sorgo para grano en Zaragoza, Coah.....55
4.4.	Producción de materia seca, ton/ha, para los tratamientos de riego por dulas en sorgo para grano en Zaragoza, Coah.....58
4.5.	Producción de materia seca acumulada, ton, de los tratamientos de riego por dulas en sorgo para grano en Zaragoza, Coah.....58
4.6.	Producción de grano, ton/ha, para los tratamientos de riego por dulas en sorgo para grano en Zaragoza, Coah.....61

4.7.	Producción acumulada de grano, ton, por número de riegos en el experimento de dulas en sorgo para grano en Zaragoza, Coah.....	61
4.8.	Producción de grano, ton/ha, por fecha de siembra en cada uno de los tratamientos en riego por dulas en sorgo.....	63
4.9.	Producción de grano por número de lotes y producción acumulada por número de riegos en sorgo para grano.....	63
4.10.	Número de lotes, fecha de siembra, y manejo de agua dado al tratamiento 3Rs/3L en el experimento de sorgo para grano.....	70

## INTRODUCCION

En las regiones aridas y semiáridas del mundo, como el norte de México, el agua es un recurso sumamente escaso y, por lo mismo, de gran valor para los sistemas de producción agrícola. Debido a ello, se le puede considerar como el principal factor limitante de la producción en los agrosistemas de dichas regiones, lo cual hace que sea prioritario optimizar su aprovechamiento.

La agricultura es el principal usuario del agua a nivel mundial con el 80 por ciento del consumo, pero con una eficiencia de sólo el 37 por ciento. Algunas de las acciones para aumentar la eficiencia en su aprovechamiento son: concientizar a la comunidad sobre la importancia del agua como factor de desarrollo y utilizar técnicas de riego parcelario que permitan hacer un mejor uso de los sistemas existentes de riego por gravedad (CONAGUA-IWRA-IMTA, 1992).

El norte de Coahuila se caracteriza porque existe un sistema de aprovechamiento de agua de manantiales que se distribuye por medio de turnos fijos, denominados dulas, cada 15, 17 ó 30 días, por lo general cada 15 días. De la superficie sembrada con sorgo, el 40 por ciento se riega con agua de manantiales, el 53 por ciento con agua bombeada de

pozos profundos y del Rio Bravo y el restante siete por ciento con agua derivada de presas.

El sistema de distribución de agua mediante turnos fijos ha ocasionado que en las unidades de producción se realice la práctica de siembras escalonadas de algunos cultivos y que los riegos se apliquen en forma rotacional a los diversos lotes establecidos con el agua de cada dula.

Cuando el agua de manantial se distribuye entre los usuarios, generalmente tiene que aplicarse a los cultivos aunque no sea el momento más oportuno para el riego por lo que, en muchos casos, la transferencia de tecnología de riego se ha dificultado. Estos intervalos fijos de entrega han limitado el uso de las funciones de producción y la calendarización con sensores de humedad no ha operado eficientemente debido a que los intervalos fijos de entrega no se ajustan a los requerimientos hidricos del cultivo (Briones, 1989).

Considerando las diversas maneras en que un agricultor puede manejar la interacción riego-fechas de siembra, en este estudio se estructuraron cuatro módulos para simular diferentes sistemas de producción de sorgo para optimizar el uso de agua, maximizando el ingreso neto de la unidad productiva bajo las restricciones de intervalo fijo de entrega de agua durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Para optimizar el agua en los sistemas de producción regados por dulas, se seleccionó al sorgo porque es un cultivo con buenas perspectivas de desarrollo por sus características de adaptación al medio ambiente y al variable manejo del productor. Además, es un cultivo de gran importancia nacional debido a su utilización en la industria cervecera y en la industria de alimentos balanceados para la alimentación del ganado.

En México, el sorgo empezó a adquirir importancia a partir de 1958 cuando se introdujo en la región de Río Bravo, Tamps. Actualmente, se siembra 1 230,000 ha a nivel nacional (Robles, 1982).

En el norte de Coahuila, el sorgo ocupa el segundo lugar en importancia entre los cultivos de riego para producción de grano, siendo superado únicamente por el maíz. En esta región se siembra una superficie promedio de 9,000 ha, pero se ha estado incrementando a través de los años. El hecho de considerarla como una especie de gran adaptación a las amplias condiciones ecológicas y de variado manejo del productor ha ocasionado que solamente le apliquen un riego de auxilio en las siembras de primavera, dos auxilios en las de verano y que casi nadie proporcione tres o cuatro riegos.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio fue optimizar el aprovechamiento del agua de manantiales, distribuida por turnos fijos, mediante la evaluación de sistemas de producción de sorgo.

Maximizar el ingreso neto de un sistema de producción de sorgo bajo las condiciones agroecológicas del norte de Coahuila.

## HIPOTESIS

La optimización en el aprovechamiento de agua de un sistema de producción de sorgo se obtiene al incrementar la superficie sembrada y reducir el número de riegos, en vez de sembrar menos superficie y aplicar mayor cantidad de riegos.

Al suboptimizar el rendimiento por parcela se maximiza el ingreso neto de la unidad productiva.

## REVISION DE LITERATURA

### Importancia del Agua y de la Eficiencia en su Utilización

El agua es un recurso vital, particularmente para quienes se encuentran en las regiones áridas (Solomon, 1982), por lo que se deben realizar todas las acciones necesarias enfocadas a incrementar la eficiencia en su aprovechamiento. Sin embargo, el proceso de cuantificación de la eficiencia con que se utilizan los recursos no es una tarea obvia ni fácil. Cualquier trabajo que trata con eficiencias de riego, primero debe definir cuidadosamente el término eficiencia ya que frecuentemente se asume que cuando una eficiencia de riego es baja se está desperdiciando mucha agua, lo cual no necesariamente es así. En un estudio de eficiencia, el verdadero trabajo consiste en entender lo suficientemente bien la situación y objetivos al alcance para idear una medición adecuada dentro de ese contexto (Solomon, 1982).

Howell *et al.*, (1975) definen la eficiencia de riego como "la proporción de los requerimientos de agua de riego respecto a la cantidad total de agua bombeada, almacenada y derivada para el riego. Los requerimientos de agua de riego pueden incluir cualquier cantidad de agua que se utiliza

para propósitos benéficos o necesarios". Es importante señalar que las mediciones adecuadas de eficiencia pueden ser una valiosa ayuda en la optimización del uso de recursos cuando se involucran metas múltiples que no son comunes (Solomon, 1982).

Algunas de las principales actividades para lograr una mayor eficiencia de aprovechamiento son: a) Efectuar diagnósticos para detectar las causas de la baja eficiencia en los sistemas de riego; b) Mejorar el control del agua en redes de distribución; c) Aplicar dotación volumétrica del agua; d) Utilizar técnicas de riego parcelario que permitan hacer un mejor uso de los sistemas existentes de riego por gravedad; e) Destacar la importancia del agua como factor de desarrollo, y f) Establecer una asistencia técnica apropiada a través de servicios de consultoría del agua, entre otras (CONAGUA-IWRA-IMTA, 1992).

El continuo abatimiento del agua de los acuíferos y el incremento en los costos de bombeo han traído por resultado la necesidad de desarrollar sistemas de producción de cultivos de riego más eficientes en el uso del agua (Baumhardt *et al.*, 1985). De tal forma que el uso eficiente del agua de riego se hace más esencial a medida que disminuye la disponibilidad del recurso (Hooker, 1985).

La disminución de los recursos hídricos está empezando a limitar el riego en el oeste de los Estados Unidos y en otras áreas. En algunas localidades, el abastecimiento del agua disponible es inadecuado para producir máximos rendimientos en el área regable. En otras regiones, el agua disponible ya está regulada y se requiere emplear riego con déficit. Para muchas áreas con proyectos de riego por superficie, el abastecimiento anual de agua de riego se encuentra limitado por la capacidad de almacenamiento. Todo lo anterior resalta la necesidad del manejo de riego con déficit en base estacional (Martin *et al.*, 1989).

Debido a ello, se han realizado una serie de estudios sobre eficiencia en el uso y optimización bajo condiciones limitantes de agua (Reddy y Clyma, 1982; Udeh y Busch, 1982; Pleban *et al.*, 1983, y Bernardo *et al.*, 1988) y bajo condiciones no limitantes de agua (Howell *et al.*, 1975); también sobre riegos y calendarización: número, época y láminas de riego (Musick y Dusek, 1971; Yaron *et al.*, 1978; Hooker, 1985, y Heatherly *et al.*, 1990). Además, se han realizado múltiples investigaciones sobre los efectos de la sequía y la tensión hídrica sobre el desarrollo, producción y componentes del rendimiento en sorgo, propiciados por las condiciones de deficiencia de agua.

Solomon (1982), en un ensayo sobre la eficiencia en la utilización de recursos, menciona que los ingenieros especialistas en riego están relacionados de manera natural con el uso eficiente y la economía financiera del agua y que, además, el riego afecta el uso de muchos otros recursos importantes. Señala que estos especialistas en riego generalmente se consideran manejadores de agua pero que deben empezar a considerarse a si mismos como manejadores de recursos.

Le Moigne et al., (1989) señalan que el riego ha evolucionado como el principal factor en la agricultura a nivel comercial y que, para mejorar algunas de las futuras acciones, se deben considerar cuidadosamente algunos aspectos: principalmente las demandas conflictivas sobre los limitados recursos hídricos, las cuales se están incrementando seriamente; el mantenimiento inadecuado de la infraestructura, particularmente de la necesaria para el riego y drenaje, todo lo cual conlleva la principal contribución e implicaciones de fondo.

La presión económica y ambiental orilla a que se haga un más eficiente uso del agua con fines de riego. Se han identificado seis áreas de investigación críticas para crear el conocimiento necesario en la generación de mayores eficiencias de riego (Clothier, 1989).

Por su parte, el Comité de Investigación y Educación Administrativa de la Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE, 1989), indica que el riego y el drenaje son los principales métodos para mantener la producción agrícola. Como resultado, el diseño, instalación y manejo juegan un papel principal en el comportamiento y utilidad de estos sistemas. También menciona seis categorías generales como necesidades de investigación a futuro, entre las que destacan los requerimientos de agua por las plantas y, dentro de ellas, la modelación de los requerimientos hídricos, las técnicas de calendarización del riego y la adaptación de equipo, así como el desarrollo de métodos para evaluar y cuantificar la incertidumbre en las funciones de producción de agua.

Stewart *et al.*, (1975) mencionan que hoy, como en el pasado, la gran mayoría de los agricultores trabajan en los extremos del espectro de riego: riegan generosamente para asegurarse contra pérdidas en el rendimiento de los cultivos, o no riegan por completo. Ambas posiciones están profundamente arraigadas en la historia de la disponibilidad hídrica, así como en los precios del agua y del producto. La disponibilidad del agua y las estructuras de los precios están sufriendo rápidos reajustes: los agricultores de riego ven que las demandas alternativas para el agua se encuentran estancadas mientras que los costos del riego se están incrementando. La escasez no planeada de agua es muy

frecuente, mientras el concepto de cultivo planeado con deficit de agua esta aumentando deseablemente desde un punto de vista económico, por lo que parece haber una tendencia hacia limitar el riego mediante deficits de agua bien planeados.

### Riego con Déficit Controlado

Cuando los costos de riego son bajos y los abastecimientos de agua no son limitados, la politica óptima consiste en aplicar bastante agua para alcanzar máximos rendimientos. Sin embargo, cuando el agua es escasa o el riego es caro, la práctica óptima de riego generalmente es aplicar menor cantidad de agua de la que el cultivo es capaz de utilizar. Tal práctica se conoce como riego con déficit y trae por resultado una disminución en el rendimiento. Por lo tanto, para determinar las prácticas óptimas de riego es necesario estimar las reducciones en rendimiento que se producen cuando se disminuye el uso de agua (English, 1981).

En la práctica de riego con deficit, el regador debe seleccionar el cultivo de temporal, el tamaño de superficie a regar y determinar el área a sembrar y la lámina de agua por aplicar en cada cultivo que se regará. El manejo del riego con déficit depende de la relación entre el producto de mercadeo y la cantidad de riego. La respuesta del cultivo al riego varia con los ciclos, el tipo de suelo, el sistema

de riego y otros factores. Por lo tanto, para realizar un análisis de varios años es inaceptable una función de producción estática para un cultivo. El riego con déficit incrementa los riesgos de pérdidas económicas en un solo ciclo. Los productores podrían asignar agua para maximizar el beneficio total para un periodo multianual o para minimizar el riesgo de una pérdida en un mismo ciclo. El objetivo del manejo de riego debe reflejar las estrategias financieras de los productores (Martin *et al.*, 1989).

#### Estudios de Optimización de Agua y de Simulación

English (1981) menciona que la optimización se refiere a la maximización de los beneficios netos obtenidos por unidad de agua utilizada, lo cual difiere de las metas más comunes de maximización de la eficiencia de riego o de la maximización de producción del cultivo.

Udeh y Busch (1982) indican que se han empleado muchas técnicas de optimización para resolver problemas complejos en sistemas de riego. Diversos autores han utilizado técnicas de programación para seleccionar los componentes menos costosos en dichos sistemas, para consolidarlos y para dosificar agua de riego.

Howell *et al.*, (1975) usaron técnicas de programación dinámica para optimizar la eficiencia en el uso de agua,

bajo altas frecuencias de riego, minimizando las pérdidas de agua por escurrimiento y drenaje mientras mantenían un preciso control en el contenido de humedad del suelo. Las técnicas de programación se basan en el "principio de optimidad" y se han usado extensivamente para distribuir recursos escasos en un proceso de decisión múltiple. Diversos autores han usado la programación para optimizar la dosificación de agua de riego a los cultivos y han revisado las aplicaciones de la programación a problemas agrícolas.

Reddy y Clyma (1982) emplearon la programación para optimizar los parámetros de diseño en sistemas de riego por superficie mediante un análisis simplificado. Para reducir el tamaño del problema, usaron una técnica sencilla: el análisis de monotonidad, la actividad de confinamiento y la condensación. Utilizando este sencillo procedimiento de optimización, rigurosamente matemático, obtuvieron soluciones globalmente óptimas para diseños de mínimo costo y máximo beneficio.

Udeh y Busch (1982) desarrollaron un modelo de optimización para seleccionar el área óptima de terreno a regar. Mientras que English (1981) realizó una investigación sobre la optimización económica en el uso de agua de riego, empleando la teoría estadística para seleccionar el patrón óptimo de cultivos. Además, Martin *et al.*, (1989) formularon métodos para el manejo del riego con déficit a partir de un

abastecimiento limitado de agua y describen las técnicas para predecir el área óptima de riego para una cantidad dada de agua disponible al inicio del ciclo; mediante técnicas de programación desarrollaron una regla de operación para distribuir anualmente una cantidad limitada de agua sobre un periodo de varios ciclos.

Bernardo *et al.*, (1988) desarrollaron un modelo de programación para determinar en un mismo ciclo la dotación óptima de agua de riego bajo condiciones de limitada disponibilidad de agua. Las reducciones en el abastecimiento de agua a nivel unidad de producción pasaron de 40 por ciento a casi diez por ciento, disminuyendo los ingresos económicos. La pérdida en ingresos resultante de la escasez de agua se minimizó a través de un manejo conjunto del calendario de riegos, de las prácticas de riego y de otras respuestas, de corto plazo, a los déficits de agua.

En varios lugares de Estados Unidos, y también en Israel, se han probado algunos modelos de optimización basados en técnicas de programación que involucran el balance de agua, la respuesta de los cultivos y restricciones de riego, energía y mano de obra. Tales modelos computarizados se han estructurado para distribuir el agua secuencialmente en el campo y generar los nuevos calendarios de riego para varios cultivos; sin embargo, su mayor repercusión se ha obtenido solo en terrenos regados

por bombeo, donde el diseñador decide directamente sobre el uso y manejo del agua y puede actuar con libertad sobre la función de producción (Amir *et al.*, 1976; Arlosoroff, 1978; Yaron *et al.*, 1978; Ron, 1978; Valmont, 1980; Pleban *et al.*, 1983).

English (1981) realizó una investigación relacionada con la optimización económica en el uso de agua de riego. El trabajo teórico se aplicó a un estudio de caso que incluyó a productores que tenían un abastecimiento limitado de agua. Empleó la teoría de decisión para seleccionar el patrón óptimo de cultivos para cada uno de los seis agricultores. Los patrones de cultivo considerados incluyeron varias combinaciones entre dos cultivos y un terreno sin cultivar. Los resultados del estudio de caso indicaron que las estrategias óptimas de riego, seleccionadas para cada uno de los agricultores con respecto a la incertidumbre en los modelos de producción de los cultivos, pueden diferir substancialmente de las estrategias seleccionadas sin consideración por la incertidumbre y utilidad. Concluye que estas estrategias óptimas serán de mayor consistencia de acuerdo con la preferencia de cada uno de los agricultores.

Udeh y Busch (1982) crearon un modelo de optimización y lo aplicaron para desarrollar estrategias óptimas de manejo de riego en el Distrito No. 45 de Wood River Valley, Ohio. El modelo se utilizó para seleccionar el área óptima

de terreno a ser regado, mientras se controló por parámetros de entrada estocásticos e hidrológicos y de eficiencia probabilística de riego, así como para seleccionar la función de respuesta del riesgo del regador bajo las condiciones probabilísticas especificadas. Las áreas óptimas de terreno obtenidas a partir del modelo correlacionaron estrechamente con aquellas sometidas al riego en el distrito. Muchos autores han empleado modelos para seleccionar los componentes menos costosos de sistemas de riego, para conformar el sistema de riego y para dosificar el agua. Sin embargo, sus modelos desarrollados incorporaron parámetros de entrada estables o determinísticos, por lo que ignoraron las variabilidades en tiempo y espacio inherentes en algunos de los factores de entrada. También ignoraron los factores de riesgo e incertidumbre que característicamente inciden con frecuencia en la planeación, diseño y manejo de los sistemas de riego.

Se han realizado estudios de simulación en sorgo de grano para determinar las fechas y cantidades de riego (Villalobos y Fereres, 1989) y para la calendarización del riego utilizando procedimientos de análisis de riesgo costo/pérdida (C/P), modelos de simulación de desarrollo del cultivo y pronósticos de la lluvia (Rogers y Elliot, 1989), así como para caracterizar el impacto de la variabilidad del clima año con año sobre la calendarización del riego en sorgo de grano y para cuantificar el efecto de la

incertidumbre en el pronóstico de la lluvia sobre el calendario de riego evaluado semanalmente (Stockle y Dugas, 1989).

En el estudio realizado, Rogers y Elliot (1982) compararon los costos asociados con la aplicación del riego en base diaria con la pérdida de producción (valor del cultivo) debido al déficit de humedad del suelo. Siempre que la relación C/P alcanzó un nivel crítico, determinado por la probabilidad de lluvia, se inició un riego en la simulación. Con la metodología C/P se desarrollaron diferentes calendarios para las tres relaciones C/P utilizadas, lo que trajo por resultado la disminución de la aplicación de agua a medida que se incrementaron los costos de riegos o que disminuyó el valor del cultivo. Los calendarios C/P tendieron a tener un ingreso ligeramente menor que los calendarios en base a estado de desarrollo. Sin embargo, con los calendarios C/P se aplicó menor cantidad total de agua de riego, particularmente para relaciones de alto costo de riego y bajo valor del cultivo, indicando que el procedimiento puede tener mérito en determinar los calendarios de riego cuando los recursos hídricos son limitados.

Stockle y Dugas (1989) señalan que el uso de calendarios fijos de riego se ve limitado por la variabilidad del clima año con año, particularmente la

precipitación. Encontraron que el pronóstico de la lluvia puede no ser un factor significativo para las decisiones de calendarización del riego evaluadas a intervalos cortos.

Villalobos y Fereres (1989) desarrollaron un modelo de simulación acondicionando un generador sencillo de lluvia diaria a un modelo de balance de agua que determinó las fechas y cantidades de riego. El modelo de precipitación utilizó datos mensuales promedio para generar la precipitación diaria y el balance de agua usó valores de  $ET_0$  promedio, estimando separadamente evaporación y transpiración así como el abatimiento permisible. Las funciones de distribución de probabilidad de la fecha del primer riego se desarrollaron para situaciones de riego ideales y prácticas. Proponen el método basado en la simulación para desarrollar un calendario de riego predictivo con niveles de probabilidad seleccionados para fechas de riego óptimas y subóptimas.

### Fases Fenológicas Críticas y Efectos del Déficit de Agua Sobre el Cultivo

La investigación ha demostrado que se puede suspender el riego en ciertas fases fenológicas del cultivo y, al mismo tiempo, cosechar un rendimiento económico aceptable. En la calendarización con déficit hídrico controlado es clave no la cantidad de agua por aplicar sino el momento en

que el cultivo la necesita (Valmont, 1980).

A pesar de la confiabilidad de la información sobre la evaluación de la época óptima en la aplicación del riego, no hay un consenso sobre la etapa de desarrollo que optimiza la eficiencia del agua; sin embargo, existe un acuerdo general sobre la evapotranspiración estacional del sorgo que considera de 540 a 560 mm de uso de agua durante el ciclo vegetativo para maximizar la producción de grano (Hooker, 1985). Este autor señala que varios investigadores encontraron que una tensión severa durante el espigamiento redujo significativamente la producción de grano. Musick y Dusek (1971) concluyeron que la tensión hídrica durante la etapa de desarrollo vegetativo tuvo menos efecto sobre el rendimiento que la tensión desde el espigamiento hasta el llenado de grano. Mientras que Manjarrez *et al.*, (1989) concluyeron que la microsporogénesis y el estado lechoso-masoso son las etapas más sensibles del desarrollo de la panícula de sorgo a los déficits de agua.

En cambio, los datos sobre uso consuntivo muestran el pico de uso de agua diario en el espigamiento, lo cual soporta el argumento de que esta etapa de desarrollo es la más crítica para el riego. Stewart *et al.*, (1975) compararon la tensión hídrica a finales de la etapa vegetativa, en la polinización y en el llenado de grano, concluyendo que el sorgo es tres veces más sensible a déficits de

evapotranspiración en la etapa vegetativa que en la polinización ó en el llenado de grano.

Con la aplicación del riego durante las fases críticas del cultivo no solamente se ahorra de 20 a 40 por ciento de agua sino que, además, se ahorra dinero, energía y mano de obra. En el norte de Coahuila, como en muchas otras regiones del norte de México y Sur de Estados Unidos, el agua y la energía son limitantes. Por tal motivo, en cualquier actividad del sector agrícola se busca ahorrar agua, energía y mano de obra combinando los recursos e insumos con tecnologías que maximizan el ingreso neto no solo de un cultivo en particular, sino del patrón de cultivos manejado en la unidad agrícola (USDA, 1979).

La aplicación del riego en fases fenológicas críticas es de fácil implementación en campo porque el agricultor está familiarizado con el cultivo; además, es la mejor alternativa para maximizar el ingreso neto y promete adaptarse con mayor flexibilidad al sistema de distribución de agua por turnos (Briones, 1989).

Wong *et al.*, (1983) realizaron un estudio en Chapingo, Méx., con el objetivo de evaluar el efecto de la sequía sobre las características vegetativas, reproductivas y de eficiencia en 50 genotipos de sorgo, aplicando la metodología de riego-sequía para abarcar la floración. Por

la etapa en que ocurrió, la sequía afectó más al peso seco de la panoja que al de las partes vegetativas. La mayoría de los genotipos presentaron una disminución en la producción de materia seca durante la etapa de llenado de grano, con una recuperación posterior. La reducción de 20 por ciento en el rendimiento de grano se atribuyó principalmente a una merma en la eficiencia del área foliar por día durante la etapa de llenado de grano. A diferencia de otras especies, se observaron adelantos en la floración por efecto de la sequía en los genotipos estudiados. Concluyen que se apreciaron algunos genotipos poco afectados temporalmente pero con recuperación buena y otros con baja, respuestas que corresponden a los tipos tolerante, latente y susceptible.

Lewis *et al.*, (1974) evaluaron y determinaron la susceptibilidad del sorgo grano a un déficit hídrico moderadamente severo en tres etapas de desarrollo. La susceptibilidad del cultivo se expresó como una fracción de la reducción en rendimiento causado por un potencial hídrico del suelo aplicado en una etapa particular de desarrollo, comparada con un testigo bien abastecido de humedad. El nivel de déficit hídrico en el suelo trajo por resultado reducciones en el rendimiento de 17, 34 y 10 por ciento cuando el déficit ocurrió desde la última etapa del período vegetativo hasta la etapa de embuche, desde el embuche hasta la etapa de floración y desde la etapa lechosa hasta la masosa, respectivamente. Estos valores se compararon con

otros, calculados a partir de los datos reportados en la literatura y se discutieron en términos de aplicabilidad en la programación del riego.

Bawazir e Idle (1989) realizaron un estudio de invernadero para evaluar la resistencia a la sequia y la morfología de la raíz en sorgo, donde pusieron a germinar nueve variedades de sorgo en parcela y se les dejó desarrollarse sin humedecimiento posterior. En un segundo experimento, las plantas se pusieron a germinar y se transplantaron a macetas y, después de dos semanas de desarrollo sin humedecimiento posterior, se evaluaron para ver la sobrevivencia en la etapa sin marchitez y se calculó el porcentaje de sobrevivencia. Concluyeron que una alta conductividad relativa indica resistencia a sequia si las plantas se están desarrollando con menos raíces restringidas, como en terrenos abiertos, mientras que ocurre lo contrario si las plantas están creciendo en macetas.

Manjarrez et al., (1989) mencionan que muchos estudios han reportado respuestas a la tensión por sequia en sorgo pero que se sabe poco acerca de sus efectos sobre el desarrollo de la panícula. Los autores realizaron un estudio en Chapingo, Mex., para determinar el estado de desarrollo más susceptible a la deficiencia de agua, en términos de componentes de rendimiento del grano, sometiendo dos genotipos de sorgo a diez tratamientos sucesivos de sequia

que cubrieron el ciclo de vida completo. También se estudiaron los efectos sobre el desarrollo de la panícula. La tensión por sequía durante la esporogénesis destruyó la panícula completa. Posteriormente a esta etapa, la sequía produjo aborto del primordio en las ramas de la panícula, y una reducción del 25 al 55 por ciento en el número de granos por panícula madura. Después, los periodos de sequía no redujeron el número de granos por panícula, pero redujeron el peso de grano individual hasta en un 50 por ciento. Consecuentemente, el rendimiento fue reducido por los periodos de tensión por sequía en todas las etapas de desarrollo de la panícula antes de la madurez fisiológica. Además, la tensión por sequía antes de la antesis retardó la velocidad de desarrollo subsecuente de la panícula; mientras que, después de esa etapa, la aceleró. La proporción de granos de polen fértil permaneció arriba del 90 por ciento en todos los periodos de tensión por sequía.

Santamaría *et al.*, (1990a y 1990b) realizaron una serie de experimentos en Australia, desde 1986 hasta 1990, con la finalidad de evaluar la contribución del ajuste osmótico al rendimiento de grano en sorgo bajo condiciones de agua limitada, antes y después de antesis. Evaluaron seis genotipos que se dividieron por su alto y bajo ajuste osmótico, dividiéndose en grupos de maduración precoz, intermedia y tardía. Los genotipos se humedecieron bien y se sometieron a un periodo de escasez de 41 días después de la

antesis o, bien, se humedecieron hasta el final de su desarrollo. El rendimiento promedio de grano en genotipos con alto ajuste osmótico fue 24 por ciento mayor que el de aquellos con bajo ajuste. El mayor rendimiento se debió tanto a mayor cantidad de granos como a granos más grandes, y estuvo asociado con un mayor índice de cosecha y distribución del índice. Posiblemente, la diferencia en materia seca en la madurez pueda explicar solo un porcentaje de la diferencia en rendimiento de grano entre los genotipos con menor y mayor ajuste osmótico. La tensión hídrica antes de la antesis redujo el rendimiento más que una tensión de la misma intensidad posterior a la antesis. Sin embargo, el ajuste osmótico fue igualmente efectivo para minimizar la reducción en el rendimiento de grano en ambas etapas.

Heatherly *et al.*, (1990) realizaron una serie de estudios en la planicie aluvial del Río Mississippi desde 1984 hasta 1987 con la finalidad de evaluar la respuesta de maíz, sorgo y soya con riego y sin riego y determinar el efecto del riego sobre el rendimiento y sus componentes. Indican que el uso agrónomicamente más eficiente del agua de riego fue para aquellos cultivos que proporcionaron las más altas respuestas. El riego se aplicó desde el inicio de la floración hasta cerca de la madurez fisiológica de cada cultivo siempre que el potencial hídrico del suelo en los primeros 30 cm de profundidad promedió  $-70$  kPa. Las diferencias entre los rendimientos promedio de semilla del

maíz, sorgo y soya regados (R) y sin regar (SR) fue 2.9, 0.7 y 1.6 ton/ha, respectivamente. El sorgo produjo el rendimiento más estable sin riego y el menor incremento en ingresos monetarios a partir del riego. Las pequeñas diferencias de rendimiento del sorgo estuvieron asociadas con diferencias en el peso de la semilla ó una combinación de diferencias en el peso y número de semillas.

Hooker (1985) realizó una serie de experimentos desde 1976 hasta 1983 en Kansas, EUA, con la finalidad de evaluar el rendimiento de grano del sorgo y los componentes de rendimiento sobre respuesta al momento y número de riegos. Los tratamientos de agua de riego se aplicaron en las etapas de presiembra (PS), PS + diferenciación del desarrollo (DD), PS + floración (F), PS + DD + F, y PS + inicio del riego al 50 por ciento de la humedad disponible en el suelo. Los máximos rendimientos de grano se obtuvieron en forma consistente cuando se aplicaron tres o más riegos. Con dos aplicaciones de agua de riego se redujo la producción de grano, pero el momento de las aplicaciones de agua en la etapa DD ó F no tuvo efecto sobre el rendimiento. El riego en DD resultó en un mayor número de granos por espiga y por unidad de área, mientras que las aplicaciones en F incrementaron el peso de la semilla, sugiriendo que la misma cantidad de materia seca se acumuló en la espiga si el agua se aplicaba durante DD ó F. Además, los productores de grano de sorgo tienen un periodo más amplio sobre el cual pueden

aplicar limitadas cantidades de agua de riego sin reducir la producción de grano. Sin embargo, si se desea el máximo potencial de rendimiento, es necesario tener adecuadas cantidades de agua disponible para el cultivo en la etapa de DD para lograr el máximo número de granos.

Stewart *et al.*, (1975) realizaron una investigación con el propósito de desarrollar funciones de producción para agua y programas de riego optimizados en términos de fechas específicas y láminas de riego para maximizar beneficios, eficiencia en el uso de agua u otra función objetivo, que fueran útiles para mejorar las soluciones a problemas tan urgentes como la dotación de agua a los cultivos, también para apoyar la planeación de estrategias para el uso de un abastecimiento limitado de agua y la evaluación de los impactos económicos de la escasez de agua en la agricultura de riego. La predicción en el rendimiento del cultivo cuando el agua es limitante requiere una expresión cuantitativa del impacto en el déficit de la evapotranspiración sobre el rendimiento. Encontraron que el rendimiento de sorgo para grano es marcadamente menos sensible a un déficit de ET que el maíz y no existe signos de que un factor condicionante funcione con este cultivo.

Garrity *et al.*, (1984), en una serie de estudios realizados en Nebraska desde 1978, estudiaron la dinámica de la respuesta estomática y de la fotosíntesis aparente en el

sorgo de grano a través del ciclo de desarrollo en relación con la tensión hídrica y encontraron que la tensión hídrica redujo los rendimientos de grano y de materia seca en 36 y 37 por ciento, respectivamente. La fotosíntesis por unidad de área foliar no disminuyó por la tensión hídrica durante los periodos reproductivos y de llenado de grano y la tasa de fotosíntesis aparente disminuyó de 14 a 26 por ciento, lo cual solamente fue resultado de una menor área foliar en el tratamiento con tensión.

Smith *et al.*, (1989) en un estudio realizado en Georgia durante 1986, encontraron que el mijo perla es un cultivo superior al sorgo y de mayor calidad de grano bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. Los resultados indicaron que las semillas de mijo perla germinan mejor que las de sorgo en condiciones de sequía y bajas temperaturas.

Baumhardt *et al.*, (1985) mencionan que, en las Altas Planicies del Sureste, el sorgo se siembra con varios regímenes de riego, desde riego completo hasta temporal, por lo que realizaron un estudio para determinar la respuesta del sorgo de grano al riego limitado y al manejo del barbecho. Concluyeron que el sistema de transición más adecuado para un sistema de producción agrícola de temporal con demanda de riego, es la combinación de no labranza durante el barbecho, después del trigo, y un solo riego bien programado para una sucesión de cultivos.

Howell (1990) menciona que existe un gran interés en reagar al sorgo para grano debido a que se requiere menor cantidad de agua y menores insumos de fertilizante, trabajo y energía. La producción de sorgo puede ser una alternativa atractiva cuando existe limitada disponibilidad de agua para el riego y, aunque el sorgo presenta características de resistencia a sequía, el buen manejo del agua de riego y la adecuada humedad del suelo son esenciales para obtener óptimos rendimientos. El uso diario de agua de una planta de sorgo será bajo (menos de 2.5 mm/día) en estado de plántula y se incrementa a un pico (como 7.6 mm/día) durante mediados de verano, cuando la planta se encuentra en la etapa fenológica de floración.

Myers (1992) señala que con frecuencia se le llama al sorgo el "cultivo camello" debido a su habilidad para comportarse bien bajo condiciones de lluvia limitada y de alta temperatura en el verano.

Rodríguez (1986) evaluó la respuesta del sorgo a diferentes contenidos de humedad en el suelo en dos etapas de desarrollo, en un estudio efectuado en el norte de Coahuila durante 1985, usando el material RB-3030. Se probaron -4, -8 y -12 atm de tensión hídrica, que se aplicaron en las etapas vegetativa y reproductiva y proporcionaron un total de nueve tratamientos. La cantidad de riegos de auxilios varió de dos a cinco. Se presentaron

diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en altura final de planta, peso de espiga, producción de materia seca y producción de grano. No hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en peso de mil granos y en cantidad de espigas por unidad de área. Con el tratamiento AF<sub>4</sub>-DF<sub>8</sub> se obtuvo la mayor producción de grano, 4.6 ton/ha, con el cual se aplicaron los riegos de auxilio a 27, 50 y 71 dds.

Montenegro (1985) realizó un estudio en Zaragoza, Coah., en el que evaluó la respuesta del sorgo al déficit progresivo de humedad. Los tratamientos fueron 20, 40, 60 y 80 por ciento de abatimiento y dos testigos. Concluyó que la tensión hídrica indujo latencia, retrasando la diferenciación de las fases fenológicas, principalmente en los tratamientos más castigados. Los rendimientos de grano y forraje se redujeron al incrementar el índice de deficiencia hídrica. El déficit hídrico también tuvo un efecto reductivo sobre la velocidad de crecimiento y la acumulación de materia seca. El mejor tratamiento fue 40 por ciento de ACC, ya que produjo los mejores rendimientos y mejoró la eficiencia en el uso de agua. Sugiere el calendario 30-45-60-75 dds, con láminas de 15 cm.

Rodríguez (1987) evaluó el efecto de la tensión de humedad del suelo sobre las etapas de desarrollo y producción del sorgo RB-3030, en un estudio realizado en el norte de Coahuila durante 1986. Los tratamientos fueron -8,

-14 y -18 atm de tensión y se aplicaron durante ambas etapas del cultivo. Solamente se presentaron diferencias significativas en altura final de planta y producción de materia seca. No se presentaron diferencias en rendimiento debido a la alta precipitación pluvial ocurrida durante el ciclo vegetativo del sorgo.

Rodríguez (1988) evaluó la respuesta del sorgo a la tensión hídrica durante las etapas vegetativa y reproductiva; el estudio se llevó a cabo en Zaragoza, Coah., durante 1987, usando el material RB-3030. No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las variables de respuesta evaluadas en planta, lo cual se debió a la precipitación pluvial ocurrida durante el ciclo del cultivo. Los rendimientos variaron de 3.8 a 5.9 ton/ha.

Rodríguez y Martínez (1988) realizaron un estudio para evaluar la respuesta del sorgo a diferentes calendarios de riego en el norte de Coahuila; usaron el material RB-3030 durante el ciclo de primavera 1988. Encontraron que el mejor tratamiento fue la aplicación tres auxilios (a los 25, 55 y 75 días después de la siembra), con 5.0 ton/ha; el mejor calendario de dos riegos aplicarlos a 41 y 54 dds, con 4.1 ton/ha; para un solo auxilio, el mejor tratamiento fue regar 55 dds, con 3.1 ton/ha; mientras que aplicando el riego 66 o 77 dds, los rendimientos fueron de 3.1 y 2.7 ton/ha; sin aplicación de riegos el rendimiento fue de 2.3 ton/ha.

## MATERIALES Y METODOS

### Características del Sitio Experimental

#### Localización

El estudio se realizó en el subciclo primavera de 1991, en terrenos del Campo Experimental de Zaragoza, Coah. El sitio experimental se encuentra localizado entre los  $28^{\circ}33'$  latitud Norte y  $100^{\circ}54'$  longitud Oeste, respecto al meridiano de Greenwich. La altitud media es de 350 metros sobre el nivel del mar (Figura 3.1).

#### Clima

Según Köeppen, modificado por García (1973), el clima de la localidad es del tipo Bsh, que equivale a un clima semiseco, con lluvias en verano y escasas precipitaciones a lo largo del año. La temperatura media anual es de  $22.1^{\circ}\text{C}$ , con una máxima promedio de  $36.1^{\circ}\text{C}$  y una mínima promedio de  $7.2^{\circ}\text{C}$ . La media anual de la precipitación pluvial es del orden de 512.7 mm, siendo mayo, septiembre y octubre los meses más lluviosos. El 83.7 por ciento de la precipitación ocurre durante el periodo de abril a octubre, mientras que

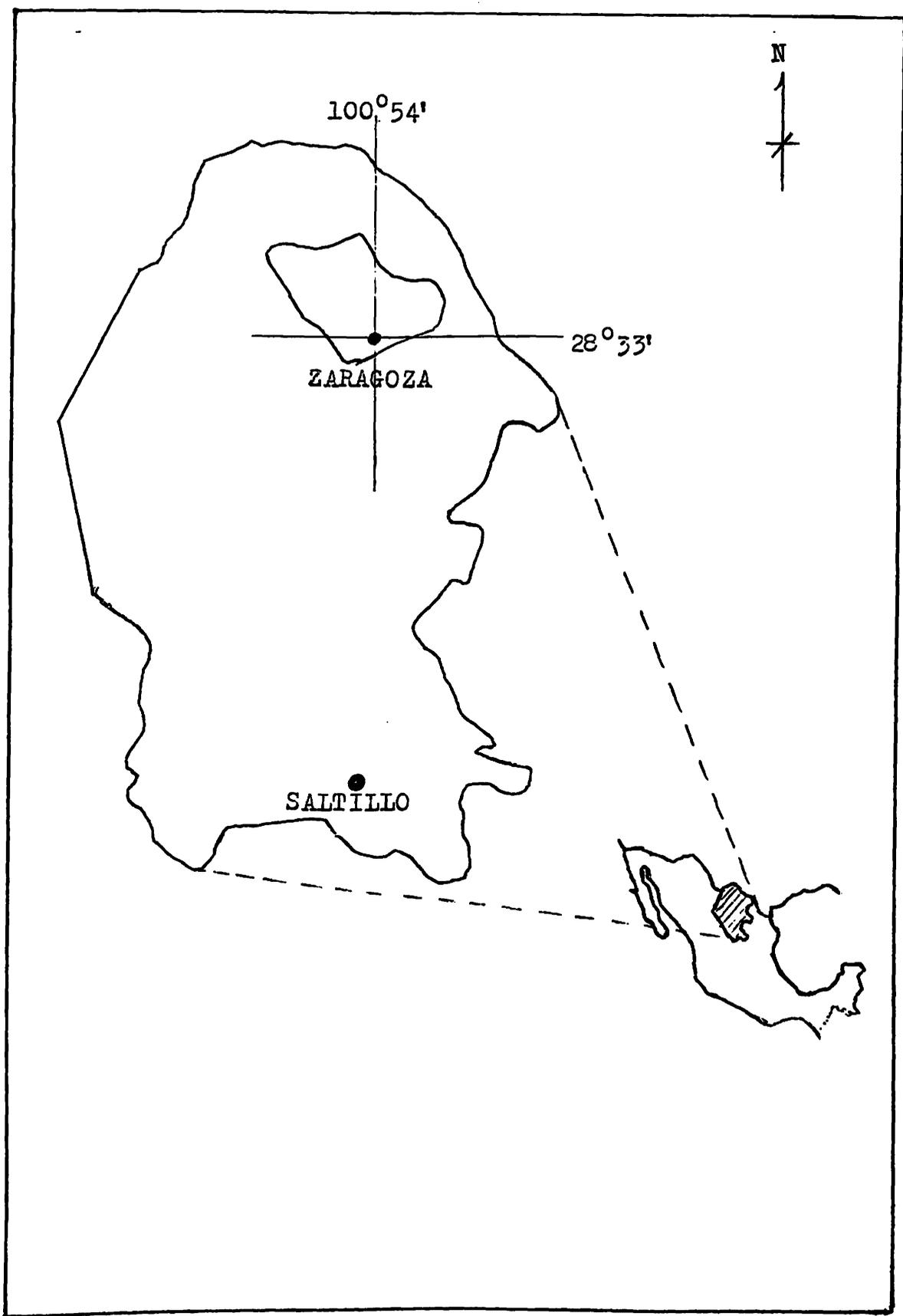


Figura 3.1. Localización geográfica del sitio experi--  
mental donde se realizó el trabajo de campo.

el 16.3 por ciento se presenta de noviembre a diciembre (Hernández, 1986). En el Cuadro 3.1 se muestran los datos climáticos registrados durante el periodo que duró el experimento.

Cuadro 3.1. Condiciones climáticas prevalecientes durante el ciclo vegetativo del cultivo en el experimento de riego por dulas en sorgo para grano realizado en Zaragoza, Coah.

Mes	Temperatura		Humedad relativa %	Precipitación pluvial mm	Evaporación libre mm
	max °C	min °C			
Marzo	27.0	10.8	58.99	5.0	213.15
Abril	28.6	15.8	68.04	113.9	182.13
Mayo	32.2	21.2	68.15	25.1	226.59
Junio	34.3	22.9	68.86	67.7	239.45
Julio	34.1	23.1	67.96	5.7	226.76
Agosto	35.8	23.8	64.97	24.3	231.08

El promedio anual de la evaporación potencial es de 2,375 mm, que equivale a 4.6 veces más que la precipitación pluvial, produciendo una deficiencia de agua durante todo el ciclo vegetativo de los cultivos que no puede ser cubierta por la lluvia y que se debe satisfacer mediante la aplicación de riegos de auxilio (Hernández, 1986).

El período libre de heladas es de 284 días, a un 90 por ciento de probabilidad, y comprende del 20 de febrero al 29 de noviembre. La media anual de la humedad relativa es de 66 por ciento, y los mayores valores se presentan en

octubre, noviembre y diciembre (Hernández, 1986).

### Suelo

El suelo es de origen calcáreo y está clasificado como xerosol cálcico; es medianamente alcalino, con un pH de 7.5 a 8.5 y presenta un horizonte superficial de acumulación de carbonatos de calcio originado por la escasez de lluvia y una infiltración incompleta. La textura del suelo es migajón arcillosa, con bajo contenido de materia orgánica (Hernández, 1986).

El análisis de suelo del sitio experimental, en el estrato de 0 a 90 cm, indica que tiene una densidad aparente de  $1.17 \text{ gr/cm}^3$  y una capacidad de retención de humedad de 12.98 cm; por lo que, para la aplicación de cada riego se consideró proporcionar la lamina de agua necesaria para humedecer los 90 cm de profundidad. Por su parte, en la Figura 3.2 se muestra la curva característica de retención de humedad, promedio de los estratos de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, para el suelo del sitio experimental.

### Agua

Las parcelas experimentales se regaron con agua bombeada desde un pozo profundo ubicado en terrenos del campo experimental, con la finalidad de facilitar el

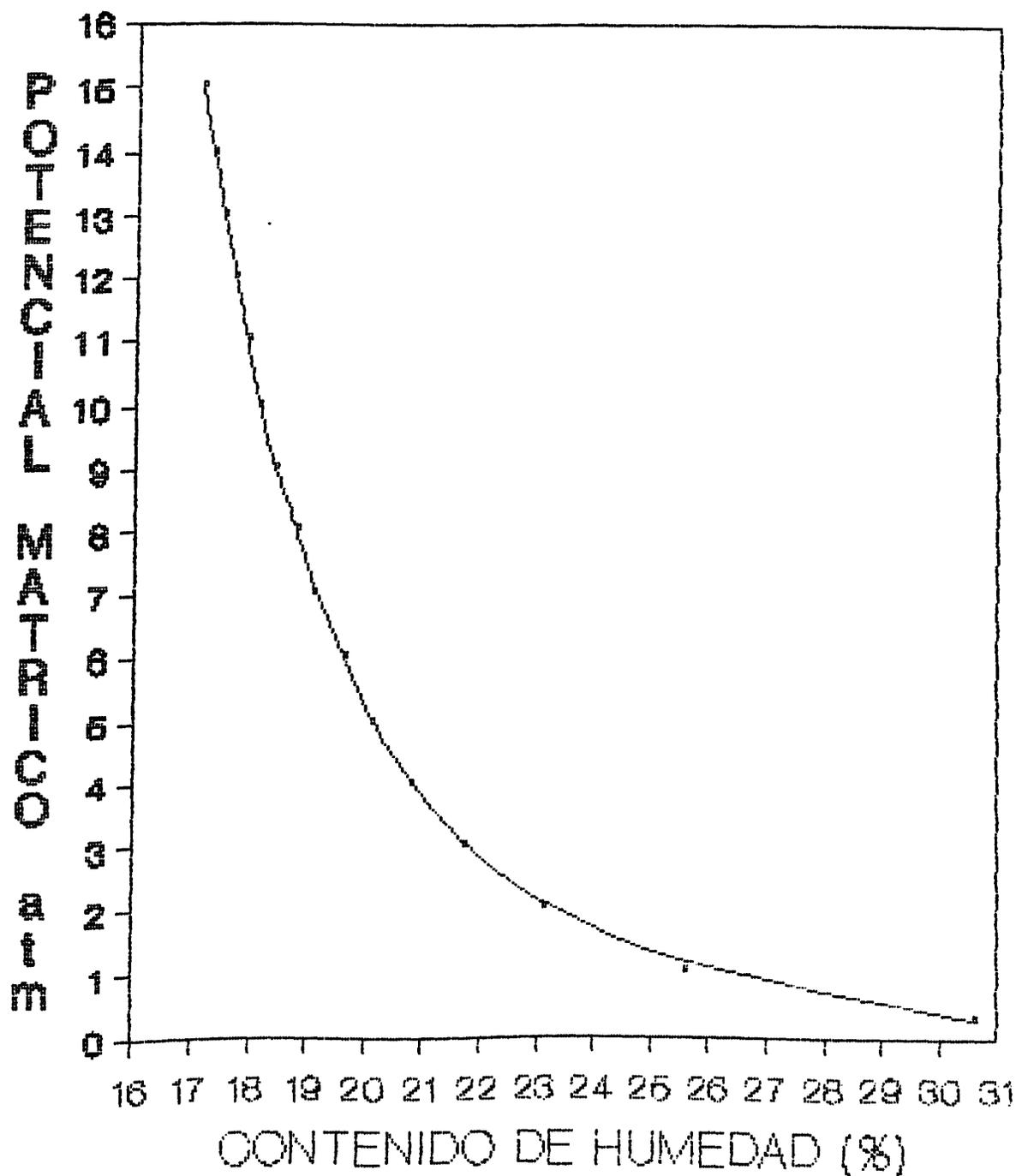


Figura 3.2. Curva característica de retención de humedad del suelo, estrato 0-90 cm, en el sitio donde se realizó el experimento.

abastecimiento de agua a los diversos tratamientos y simular la dotación y distribución de agua por turnos fijos (dulas). La calidad del agua subterránea se clasifica como buena para uso agrícola y no difiere significativamente de la calidad del agua superficial de los manantiales.

### Genotipo

En la región, los genotipos de sorgo que se siembran comúnmente a nivel comercial son ACCO R-109, RB-3030, RB-3006, TE-Dinero, entre otros. El cultivo del sorgo es relativamente nuevo en esta región, pero desde 1970 se ha promovido su siembra por los técnicos del Campo Experimental Zaragoza y, actualmente, se siembran 9,000 ha, pero la superficie se ha estado incrementando a través de los años porque es un cultivo que se adapta bien a las extremas condiciones ambientales y de variado manejo del productor.

Uno de las principales limitantes para la explotación de esta especie es el sistema regional de distribución de agua por medio de turnos fijos, usualmente cada 15 días ya que, bajo esta condición, los agricultores solamente pueden regar una superficie limitada con cada dula, por lo que se ven obligados a realizar siembras escalonadas con una ó más variedades durante el periodo de siembras. Debido a ello, la aplicación de los riegos de auxilio se ve condicionada a

esta forma rígida de distribución y el agua se aplica cuando se tiene el turno y no cuando el cultivo la puede necesitar.

El material genético que se utilizó en este estudio fue el RB-3030, generado por el INIFAP, y presenta las siguientes características agronómicas: 1.4 m de altura media de planta, 120 días a madurez fisiológica, planta de color verde oscuro, espiga compacta de 28 cm, grano de color rojizo y rendimiento medio de 4 ton/ha.

#### Tratamientos Evaluados y Diseño Experimental

El trabajo experimental consistió en el establecimiento, conducción y evaluación de cuatro módulos ó sistemas de producción de sorgo para grano, diseñados con la siembra escalonada de varios lotes de sorgo y la distribución de ocho turnos fijos de riego (Figura 3.3).

Se evaluaron cuatro sistemas de producción de sorgo (módulos), en cada uno de los cuales se distribuyeron ocho turnos fijos (dulas). Un módulo se formó con dos lotes y se aplicaron cuatro riegos alternos (4Ra) por lote. Los otros tres módulos se formaron con dos, tres y cuatro lotes, aplicando cuatro, tres y dos riegos secuenciales (4Rs, 3Rs y 2Rs), respectivamente; excepto al de tres lotes, ya que al tercer lote solamente se aplicaron dos riegos.

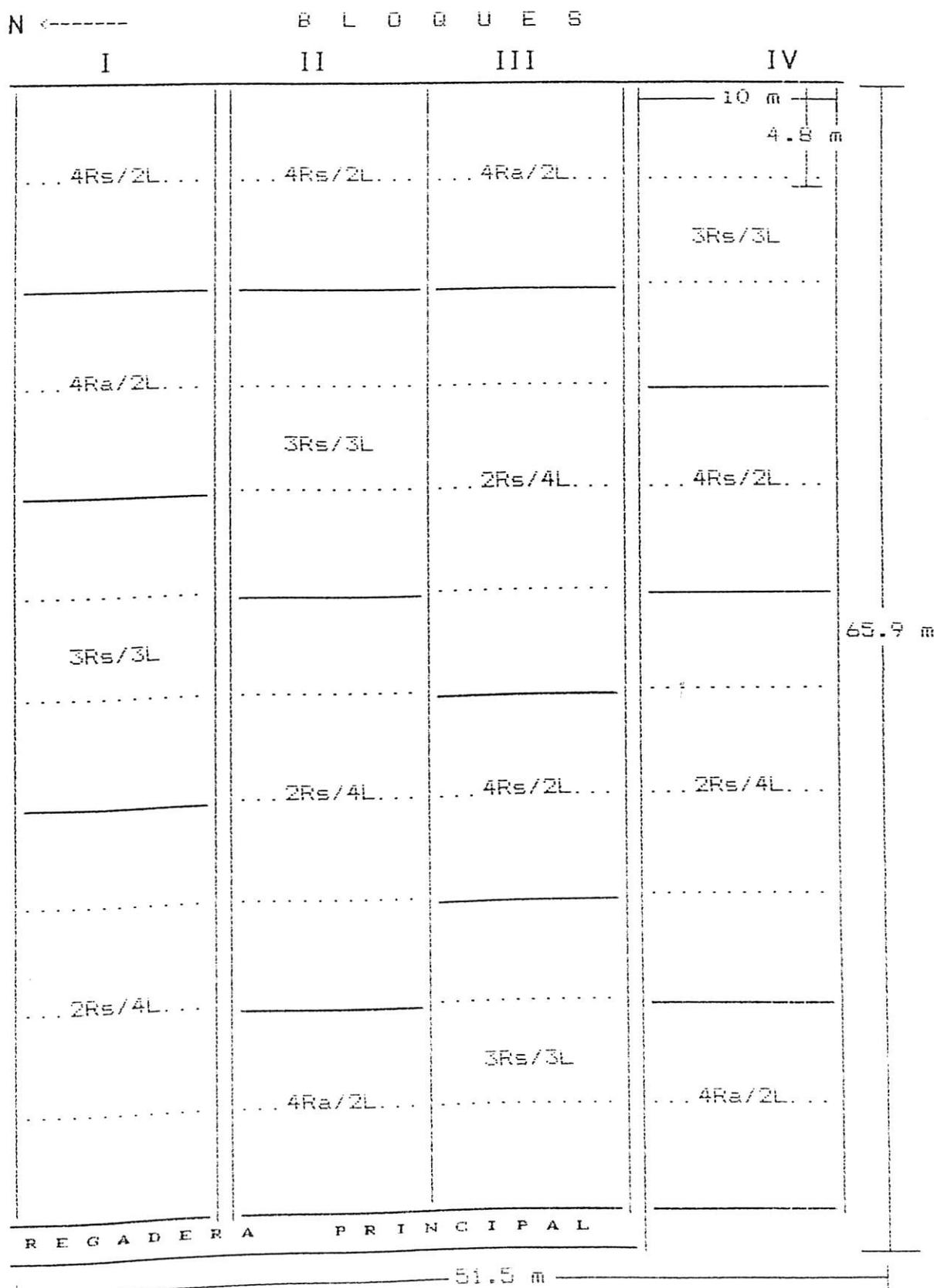


Figura 3.3. Croquis del experimento con distancias de lados de parcela y tratamientos evaluados, 1991.

La opción de segundos cultivos no se incluyó en el presente estudio, pero se puede considerar en otros proyectos en base a los resultados obtenidos en este ciclo.

Los cuatro módulos de producción de sorgo se distribuyeron en campo bajo un diseño de bloques al azar, utilizando cuatro repeticiones para cada tratamiento. Cada módulo de producción correspondió a un tratamiento y los cuatro módulos en conjunto representaron una repetición ó bloque de tratamientos (Figura 3.3).

La unidad experimental fue de  $48 \text{ m}^2$  y estuvo constituida por seis surcos de 10 m de longitud, espaciados a 80 cm; mientras que la parcela útil fue de  $24 \text{ m}^2$  y correspondió a los cuatro surcos centrales, de 6 m cada uno. Para el establecimiento de los cuatro sistemas de producción con sus repeticiones fueron necesarias 44 parcelas, que ocuparon una superficie de  $3,393.8 \text{ m}^2$  (51.5 m de ancho por 65.9 m de longitud, incluyendo regaderas).

### Análisis Estadístico

Con el propósito de determinar si hubo efecto significativo de los tratamientos sobre las variables de respuesta evaluadas en planta, se realizó el análisis de varianza en base al diseño de bloques al azar. El análisis estadístico de los resultados de campo se realizó mediante

el uso del siguiente modelo aditivo, que incluye las características para bloques y tratamientos:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, t$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, r$$

$$\xi_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$

donde:

$Y_{ij}$  = Observación en el  $i$ -ésimo tratamiento en la  $j$ -ésima repetición (bloque de tratamientos).

$\mu$  = Efecto medio o media general.

$\tau_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\beta_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición.

$\xi_{ij}$  = Efecto de la unidad experimental o error experimental inherente al  $i$ -ésimo tratamiento en la  $j$ -ésima repetición.

La clasificación de los tratamientos se llevó a cabo al comparar las medias de los tratamientos con respecto a un factor de comparación que fue estimado en base a la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS), la cual determinó la igualdad o diferencia estadística entre tratamientos, seleccionando  $P \leq 0.05$  como nivel de probabilidad.

$$W = \frac{T \text{ CMEE}}{r}$$

donde:

W = Factor de comparación.

T = Valor de tablas.

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

r = Número de repeticiones.

En este estudio se calculó la productividad de los cuatro sistemas de producción regados por turnos fijos, distribuidos en diferente número de riegos de auxilio para cada lote. Se seleccionó el sistema de producción de sorgo que optimizó el aprovechamiento de agua bajo las condiciones regionales, en función de la maximización del ingreso neto de la unidad productiva.

Los sistemas de producción se simularon mediante la siembra escalonada de lotes de sorgo, regando en forma alterna y/o secuencial para aprovechar los ocho turnos fijos o dulas, sin desperdiciar ninguno. Las restricciones del análisis fueron la cantidad de riegos aplicados mediante turnos fijos a una frecuencia de distribución de cada 15 días durante el ciclo vegetativo del cultivo, considerando uniformes el gasto de agua recibido en cada dula y la lámina de riego aplicada al cultivo, que fue de aproximadamente 14 cm para humedecer el suelo hasta una profundidad de 90 cm.

## Analisis Economico

Se realizó un análisis económico para evaluar la información referente a la producción de grano y, de esta forma, obtener el ingreso neto derivado del rendimiento, el fue considerado para seleccionar el sistema de producción de sorgo que optimizó el aprovechamiento de agua.

### Ingreso neto por sistema de producción

El ingreso neto por módulo o sistema de producción se estimó aplicando la siguiente ecuación de economía agrícola:

$$IN = VP - CFO - CVR$$

donde:

IN = Ingreso neto del sistema de producción.

VP = Valor de la producción.

CFO = Costos fijos de operación: 615,400 pesos, y

CVR = Costos variables del riego: 69,500 pesos.

### Valor de la producción

El valor de la producción es el precio de la tonelada de sorgo multiplicado por la producción total obtenida en el sistema de producción de sorgo y se obtiene usando:

$$VP = P \sum_{i=1}^L Y_i$$

donde:

VP = Valor de la producción: en miles de pesos.

P = Precio de la tonelada de sorgo: 350 mil pesos.

NL = Número de lotes sembrado en el sistema de producción: de dos a cuatro.

Y<sub>i</sub> = Rendimiento de grano obtenido por lote: en ton.

### Costos variables del riego

Los costos fijos de operación y los costos de riego se pueden obtener de los costos oficiales que maneja la SARH y los costos variables se pueden estimar aplicando la expresión:

$$CVR = CR \times NT$$

donde:

CVR = Costos variables de riego: 350,000 pesos.

CR = Costos del riego: 45,000 pesos y

NT = Número total de turnos fijos (dulas): ocho.

Los costos se obtuvieron de cifras proporcionadas por el Distrito de Riego 001 (SARH) de Cd. Acuña, Coah., cuyo desglose analítico por actividad agrícola en la producción de sorgo para grano se muestra en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Costos de producción de sorgo para grano para para el ciclo agrícola primavera de 1991 en Zaragoza, Coahuila.

---

1. PREPARACION DEL TERRENO.....	196,600
A. Barbecho.....	100,000
B. Rastreo .....	45,000
C. Empareje.....	16,600
D. Bordeo .....	35,000
2. SIEMBRA.....	62,900
A. Semilla.....	33,000
B. Siembra.....	29,900
3. FERTILIZACION.....	167,900
A. Fertilizante.....	152,500
B. Aplicación.....	12,200
C. Acarreo y Manejo.....	3,200
4. LABORES DE CULTIVO.....	58,100
A. Escardas.....	50,100
B. Deshierbes.....	8,000
5. RIEGO Y DRENAJE.....	69,500
A. Costo del agua.....	8,000
B. Limpia de canales.....	34,000
C. Trazo de riego.....	2,000
D. Riego de presiembra.....	1,500
E. Riegos de auxilio (4).....	24,000
6. PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	88,590
A. Insecticidas (2).....	83,040
B. Aplicaciones (2).....	5,550
7. COSECHA.....	108,000
A. Combinada.....	90,000
B. Acarreo.....	18,000
8. COSTO TOTAL/HÁ.....	751,590

---

## Distribución de Turnos en Siembras Escalonadas

El procedimiento que se empleó para realizar la distribución de los turnos fijos en siembras escalonadas de lotes de sorgo se describe a continuación:

10. Se calculó la cantidad de turnos fijos ó dulas, comprendida entre el inicio del ciclo de siembras y la etapa de madurez fisiológica del sorgo, aplicando la siguiente expresión:

$$NTd = \frac{DCv}{Ife}$$

donde:

NTd = Número total de turnos fijos o dulas que se deben distribuir durante el ciclo.

DCv = Duración del ciclo vegetativo del cultivo: 120 días.

Ife = Intervalo fijo de entrega de agua al usuario: cada 15 días.

Por lo tanto, el número total de turnos fijos para este estudio fue de ocho dulas.

20. La cantidad máxima de lotes que se pueden sembrar en forma escalonada esta condicionado por número total de dulas que se reciban durante el periodo de siembras, como lo

muestra la expresión:

$$NML = \frac{PSc}{IFe}$$

donde:

NML = Número máximo de lotes que se pueden sembrar.

PSc = Período de siembra para el sorgo: 60 días

IFe = Intervalo fijo de entrega de agua al usuario:  
cada 15 días.

En este estudio, el número máximo de lotes que se pueden sembrar en forma escalonada fue de cuatro, de los cuales es el primero se estableció el 28 de marzo, el segundo el 12 de abril, el tercero el 27 de abril y el cuarto el 12 de mayo.

30. La superficie regada por turno queda definida en el riego de siembra y, en este estudio, se asumió invariable durante el ciclo vegetativo del cultivo.

La superficie susceptible de regarse por turno está en función del gasto derivado al momento de recibir la dula, por la cantidad horas de agua a que tiene derecho cada usuario y por la lámina de riego por aplicar al cultivo, de acuerdo a la siguiente ecuación volumétrica:

$$A = \frac{Q \text{ Hd}}{Lr}$$

donde:

A = Superficie regada en cada turno fijo ó dula.

Q = Gasto del canal al momento de recibir la dula.

Hd = Horas de agua a que tiene derecho el usuario.

Lr = Lamina de riego aplicada al cultivo.

Tomando en cuenta que el 65 por ciento de los productores tienen derecho al 12 hr de agua en cada turno y que la superficie promedio de siembra con esta dotación es de 4 ha, en este estudio se consideró equivalente el área sembrada con cada dula.

40. El número de lotes por módulo, ajustado a un calendario de riegos pre-establecido, se calculó aplicando la siguiente expresión:

$$NL = \frac{NT}{NR}$$

donde:

NL = Número de lotes ajustado a un calendario de riegos pre-establecido: 4, 4, 3 y 2.

NT = Número total de turnos fijos: 8 dulas.

NR = Número de riegos programados para el cultivo: 2, 2, 3, y 4 para los módulos respectivos.

Con tal relación se estimaron los lotes por módulo resultantes al distribuir ocho turnos fijos en dos, dos,

tres y cuatro riegos.

Se puede observar que el número de riegos disminuye conforme se incrementa el número de lotes en que se puede distribuir un mismo número de turnos fijos. En el módulo con tres lotes, se aplicaron tres riegos a dos de ellos y dos riegos al restante. Además, se consideraron dos sistemas de producción de sorgo con dos lotes cada uno, pero con diferente estrategia en el manejo del agua de riego ya que se distribuyó en forma secuencial y/o alterna.

### Establecimiento del Experimento

#### Manejo del cultivo

El manejo general que se dió al cultivo es el que se recomienda técnicamente para la región: escarda para el aporque de tierra y control de malas hierbas. Aplicación de insecticidas para el control de la mosquita del sorgo; sin embargo, en este ciclo agrícola no se requirió aplicación de agroquímicos.

#### Preparación del Terreno

La preparación del terreno donde se estableció el experimento se realizó la segunda quincena de enero, y consistió en dar un barbecho a 30 cm de profundidad y un

rastreo cruzado. El surcado se llevó a cabo el 27 de marzo, dejando una distancia de 80 cm entre surcos.

### Siembra

Para el establecimiento de los diferentes módulos de producción de sorgo, se empleó semilla del genotipo RB-3030 a una densidad de 10 kg/ha y se sembró en forma manual. Se realizaron dos, tres y cuatro siembras de acuerdo al número de lotes establecidos en cada módulo. Las fechas de siembra fueron 28 de marzo, 12 de abril, 27 de abril y 12 de mayo. Las siembras en los módulos con dos lotes se prolongaron hasta el 12 de abril, en el módulo con tres lotes hasta el 27 de abril y, en el de cuatro lotes, hasta el 12 de mayo.

### Fertilización

La fertilización se hizo en forma manual, usando la dosis 120-60-00, preparada mediante las fuentes Superfosfato Triple de Calcio (46 por ciento de Fósforo) y Nitrato de Amonio (20.5 por ciento de Nitrógeno).

### Riegos

En la región de Zaragoza, Coah., los usuarios que riegan por dulas reciben el agua que fluye en forma natural de los manantiales, la cual es conducida a las parcelas

sembradas mediante acequias abiertas, sin revestimiento. En este estudio los riegos se aplicaron cada 15 días, usando agua subterránea para simular la distribución de las dulas. Por cuestiones prácticas, se usó agua bombeada de un pozo profundo para aprovechar el personal y la infraestructura del Campo Experimental (bomba, caseta meteorológica) y, de esta forma, mantener bajo control la operatividad del trabajo, además de la flexibilidad en el manejo del agua.

#### VARIABLES DE RESPUESTA EVALUADAS A COSECHA

La cosecha se efectuó en forma manual, una vez que los diversos tratamientos alcanzaron la madurez fisiológica. Las dos primeras fechas de siembra se cosecharon el 29 de julio y las dos restantes el 24 de agosto.

En planta se evaluaron las siguientes variables de respuesta: altura final, peso de mil granos, producción de materia seca y producción de grano. Tales parámetros se midieron a madurez fisiológica.

#### Altura final

La altura de planta alcanzada a madurez fisiológica se midió desplazando verticalmente una cinta métrica para medir desde el nivel del suelo hasta el nudo de la hoja bandera y tomando cuatro lecturas por repetición.

### Materia Seca

El peso de la materia seca se obtuvo en  $\text{kg/m}^2$  y posteriormente se transformó a ton/ha, siendo obtenidas a partir de las muestras de materia verde, para lo cual se tomaron submuestras que se colocaron en la estufa a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$  durante un periodo de 72 hr.

### Peso de Mil Granos

Después de la cosecha, se dejó que el grano se secara a temperatura ambiente y se realizó el ajuste a un 12 por ciento de humedad. En seguida, se tomaron muestras de cada tratamiento para realizar el conteo y pesaje de mil granos en la balanza analítica.

### Producción de grano

Una vez que los diversos tratamientos alcanzaron su madurez fisiológica, se cosecharon todas las espigas contenidas en la parcela útil, expresando el rendimiento en  $\text{kg/m}^2$  y transformando a ton/ha; se secaron y se trillaron mecánicamente en una trilladora para granos pequeños.

### Otros parámetros

Además, se llevó un registro de datos de clima

durante el ciclo vegetativo del cultivo, como son: temperaturas mínima, media y máxima, evaporación de un tanque tipo "A" y precipitación pluvial, empleando para ello el instrumental instalado en la estación agrometeorológica del Campo Experimental Zaragoza.

Respecto al manejo de agua, se midieron: gastos aplicados y tiempo de riego (ajustados en cada riego para aplicar el mismo volumen en todas las parcelas y proporcionar una lámina promedio uniforme de 14 cm).

El agua se aplicó practicando una abertura en la cabecera y se aforó el caudal en el punto más cercano posible a la parcela, usando el método del molinete, para proporcionar la lámina de riego programada. Una vez conocidos el área y el gasto, se permitió el tiempo necesario a cada parcela para aplicar la lámina de riego programada, usando la siguiente expresión:

$$Tr = \frac{A Lr}{Q}$$

donde:

Tr = Tiempo de riego, en seg.

A = Área de la parcela a ser regada, en m<sup>2</sup>.

Lr = Lámina de riego programada, en cm.

Q = Gasto del canal al momento del riego, en m<sup>3</sup>/seg.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Se realizó el análisis de varianza correspondiente a los datos de altura final de planta, peso de mil granos, producciones unitaria y acumulada de materia seca y de grano, con la finalidad de determinar si hubo diferencias significativas en estas variables por efecto de los tratamientos. Además, se hizo la prueba de comparación de medias correspondiente por diferencias mínimas significativas (DMS) para comparar los tratamientos y seleccionar al mejor.

Los cuadros de concentración de datos se muestran en el Apéndice A, los análisis de varianza y las comparaciones de medias respectivos se presentan en el Apéndice B; mientras que el concentrado de los resultados estadísticos de significancia para los tratamientos (sistemas de producción) se muestra en el Cuadro 4.1.

Los niveles de significancia evaluados mediante la prueba de F, que compara la varianza de los tratamientos con respecto a la varianza del error experimental, indicaron que las diferencias observadas en altura final de planta, altura final para la segunda fecha de siembra, peso de mil granos para la segunda fecha de siembra y el promedio de las dos

primeras fechas, así como la producción de materia seca para la primera fecha de siembra no mostraron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ); la altura final de planta para la primera fecha, el peso de mil granos/módulo y la producción de materia seca mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); mientras que el resto de variables mostraron

Cuadro 4.1. Significancia estadística de los tratamientos para cada una de las variables de respuesta evaluadas en planta.

VARIABLES Y UNIDADES	Media	C.V. %	Fc
Altura final de planta, cm	80.0	7.64	2.75 NS
Altura final 1 <sup>a</sup> F.S., cm	78.5	12.23	3.46 *
Altura final 2 <sup>a</sup> F.S., cm	80.6	14.83	0.99 NS
Peso mil granos/módulo, gr	28.9	7.43	3.82 *
Peso mil granos 1 <sup>a</sup> fecha, gr	30.0	8.27	3.55 *
Peso mil granos 2 <sup>a</sup> fecha, gr	28.4	8.13	1.71 NS
Peso mil granos promedio, gr	29.3	7.89	1.94 NS
Producción materia seca, ton/ha	7.6	9.67	4.92 *
Producción M.S. 1 <sup>a</sup> fecha, ton/ha	8.4	10.59	2.92 NS
Producción M.S. 2 <sup>a</sup> F.S., ton/ha	7.2	10.24	10.20 **
Producción M.S./fechas, ton/ha	7.8	9.66	5.58 **
Materia seca acum./módulo, ton	20.7	12.11	32.09 **
Producción de grano/módulo, ton/ha	3.8	7.52	19.87 **
Producción grano 1 <sup>a</sup> fecha, ton/ha	4.12	8.10	12.02 **
Producción grano 2 <sup>a</sup> fecha, ton/ha	3.77	8.94	13.63 **
Producción promedio grano, ton/ha	3.95	7.38	15.66 **
Producción acumulada grano, ton	10.32	5.52	127.89 **

NS = No significativo a un nivel de  $P \leq 0.05$ .

\* = Significativo a un nivel de  $P \leq 0.05$ .

\*\* = Significativo a un nivel de  $P \leq 0.01$ .

diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), dado que para estas variables los valores de F encontrados fueron mayores que las F de tablas para 3 y 15 grados de libertad, siendo  $F=5.42$  y  $F=3.29$  para los niveles de probabilidad de rechazo de 0.01 y 0.05, respectivamente.

### Altura final de planta

La variable altura final de planta no se vió afectada en forma significativa ( $P \geq 0.05$ ) por los tratamientos evaluados, aunque se observó que tendió a aumentar en forma proporcional a medida que se aplicó mayor cantidad de agua. Los tratamientos con mayor altura promedio de planta correspondieron a 2Ra/4L y a 3Rs/3L~ con 87.7 y 78.0 cm; mientras que con 4Rs/2L y 2Rs/4L se obtuvieron 77.4 y 77.3 cm, tal tendencia se puede apreciar en Figura 4.2. y Cuadro B.1.

En general, conforme se redujo el número de riegos/lote en la primera y segunda fechas de siembra (marzo 28 y abril 12), la altura final de planta tendió a disminuir de manera lineal desde 86.4 hasta 67.9 cm y desde 89.0 hasta 75.4 cm, respectivamente. Sin embargo, en la segunda fecha de siembra (abril 12) se obtuvieron mayores alturas de planta que en la primer fecha (marzo 28), con excepción del tratamiento 2Rs/4L. En la primer fecha de siembra mostré diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos

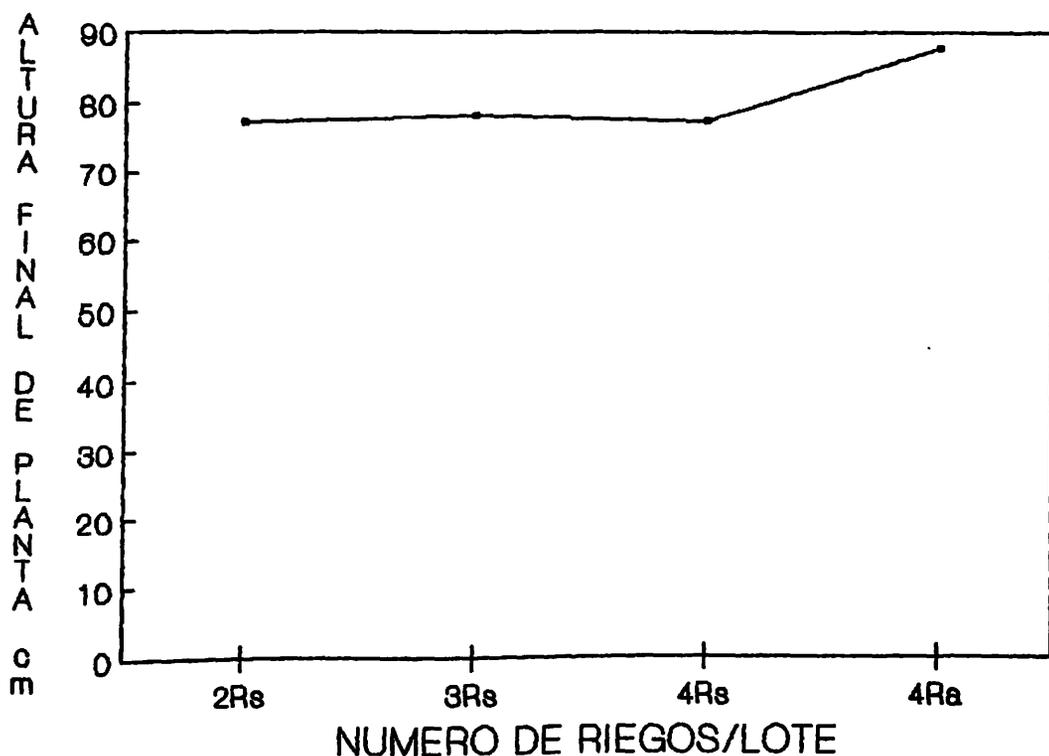


Figura 4.2. Altura final de planta de cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento de sorgo para grano.

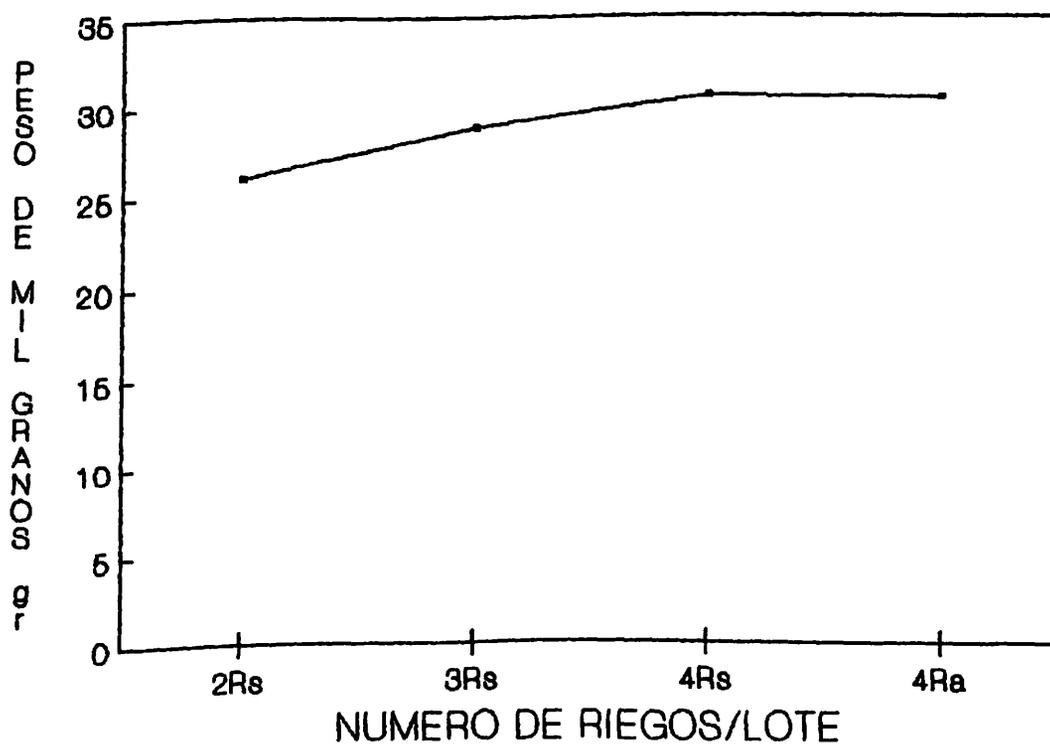


Figura 4.3. Peso de mil granos, gr., de cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento de sorgo para grano.

mientras que, en la segunda fecha de siembra, la altura final de planta no se vió afectada significativamente ( $P \leq 0.05$ ), pero la tendencia fue similar (Cuadros B.2 y B.3).

En altura promedio de las dos primeras fechas de siembra, los mejores tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) fueron la aplicación de cuatro riegos alternos a dos lotes (4Ra/2L) y dos riegos secuenciales a cuatro lotes (2Rs/4L), con 87.7 y 80.4 cm respectivamente (Cuadro B.4).

#### Peso de mil granos

Esta variable se determinó para estimar el peso hectolitrico del sorgo y evaluar si las posibles diferencias en rendimiento se debían a la cantidad y tamaño de espigas o al peso volumétrico del grano. El peso de mil granos se vió afectado significativamente ( $P \leq 0.05$ ) por los tratamientos, correspondiendo los valores más altos a la aplicación de cuatro riegos alternos y cuatro riegos secuenciales a dos lotes (4Ra/2L y 4Rs/2L), con 30.5 y 30.4 gr, respectivamente. Con la aplicación de tres y dos riegos por lote, se obtuvieron 28.8 y 26.0 gr, respectivamente (Figura 4.3). El peso del grano disminuyó a medida que se castigó al cultivo, siendo afectado significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el peso del grano en el tratamiento 2Rs/4L.

Para fechas de siembra, se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) únicamente para la primera fecha (marzo 28), siendo casi todos los tratamientos iguales entre sí, con 32.3, 30.6 y 30.5 gr, excepto el de dos riegos secuenciales aplicados a cuatro lotes (2Rs/4L), con 26.7 gr. En cambio, en la segunda fecha no hubo diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadros B.6 y B.7).

Al promediar el peso de mil granos para las dos primeras fechas de siembra (marzo 28 y abril 12) no se observaron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ), siendo iguales las medias de todos los tratamientos, con valores desde 30.5 hasta 27.1 gr, para 4Rs/2L y 2Rs/4L, respectivamente (Cuadro B.8); únicamente se observó una tendencia lineal.

#### Producción de materia seca

En la Figura 4.4 se muestra cómo el rendimiento de materia seca promedio se vio afectado significativamente ( $P \leq 0.05$ ) por los tratamientos evaluados. Los mejores tratamientos fueron aplicar tres y cuatro riegos secuenciales a tres y dos lotes (3Rs/3L~ y 4Rs/2L), los cuales fueron iguales entre sí y superiores a la aplicación de dos riegos secuenciales a cuatro lotes (2Rs/4L) y cuatro riegos alternos a dos lotes (4Ra/2L), con valores de 8.6, 7.8, 7.1 y 6.8 ton/ha, respectivamente (Cuadro B.9).

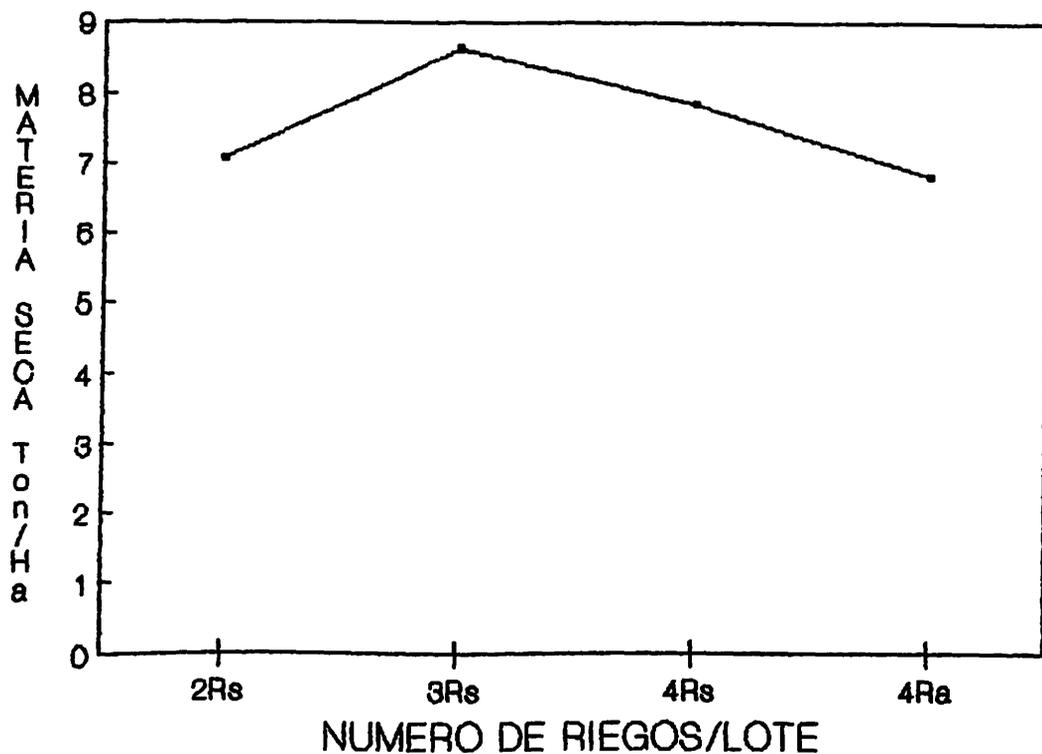


Figura 4.4. Producción de materia seca, ton/ha, para los tratamientos de riego por dulas en sorgo para grano en Zaragoza, Coah

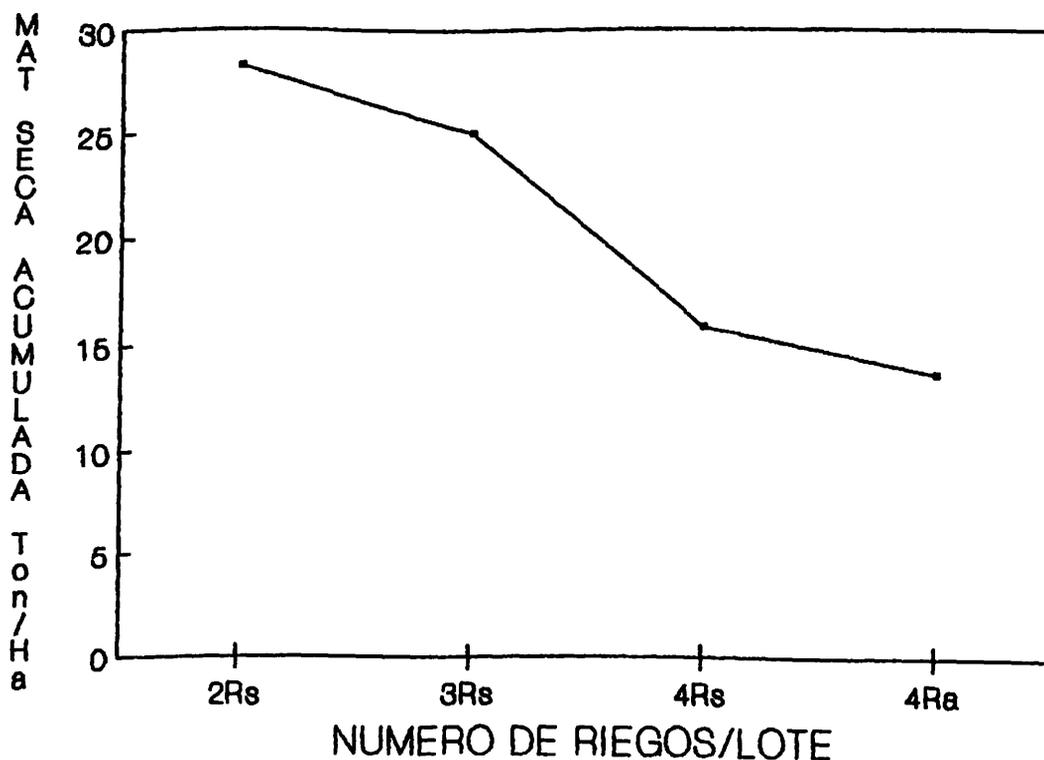


Figura 4.5. Producción de materia seca acumulada, ton de los tratamientos de riego por dulas en sorgo para grano en Zaragoza, Coah

Para la producción de materia seca de la primera fecha de siembra (marzo 28), el mejor tratamiento ( $P \leq 0.05$ ) fue la aplicación de tres riegos secuenciales a tres lotes (3Rs/3L~), el cual fue estadísticamente igual ( $P \leq 0.05$ ) a 2Rs/4L y 4Rs/2L, y superiores a 4Ra/2L, con valores de 9.1, 9.0, 7.8 y 7.6 ton/ha, respectivamente (Cuadro B.10).

En la segunda fecha de siembra (abril 12), el mejor tratamiento ( $P \leq 0.01$ ) también fue 3Rs/3L~, que fue igual a la aplicación de dos riegos secuenciales a cuatro lotes (2Rs/4L) y superior a los otros dos (4Rs/2L y 4Ra/2L), con valores de 8.8, 7.2, 6.7 y 6.0 ton/ha, respectivamente (Cuadro B.11). Lo mismo ocurrió en la producción promedio de las dos primeras fechas de siembra (Cuadro B.12).

En cambio, la mayor producción acumulada de materia seca ( $P \leq 0.01$ ) se obtuvo con la aplicación de dos riegos secuenciales a cuatro lotes (2Rs/4L), que fue estadísticamente igual a la obtenida por el tratamiento de tres riegos secuenciales a tres lotes (3Rs/3L~), superando a los tratamientos de cuatro riegos aplicados secuencial y alternadamente a dos lotes (4Rs/2L y 4Ra/2L), con valores de 28.3, 25.0, 15.7 y 13.7 ton, respectivamente (Cuadro B.13). Esta tendencia aparece graficada en la Figura 4.5.

## Producción de grano

La producción de grano es la variable de mayor interés, ya que en función de ella se define el tratamiento que optimiza el ingreso neto y, por lo tanto, el aprovechamiento de agua para el sistema de producción de sorgo. La tendencia aproximada de la función de producción en sorgo de grano está representada en la Figura 4.6 para la disposición de los promedios encontrados para número de riegos.

Respecto a la producción promedio de sorgo/lote, el mejor tratamiento fue el de tres riegos secuenciales aplicados a tres lotes (3Rs/3L~), el cual fue estadísticamente superior a los demás ( $P \leq 0.01$ ), obteniendo un rendimiento de 4.6 ton/por lote. Mientras que los tratamientos 4Ra/2L, 4Rs/2L y 2Rs/4L produjeron 3.8, 3.8 y 3.0 ton/lote, respectivamente; el coeficiente de variación fue de un 7.5 por ciento. En el tratamiento 4Ra/2L se aplicó la misma lámina de riego que en el tratamiento 4Rs/2L y la diferencia en rendimiento logrado por el riego cada 15 o 30 días no fue significativa. Los tratamientos 4Rs y 4Ra realmente representan un mismo punto sobre la función de producción.

El manejo de las dulas en el módulo 2Rs/4L conduce a una irrigación con déficit la cual, aunque fomenta la

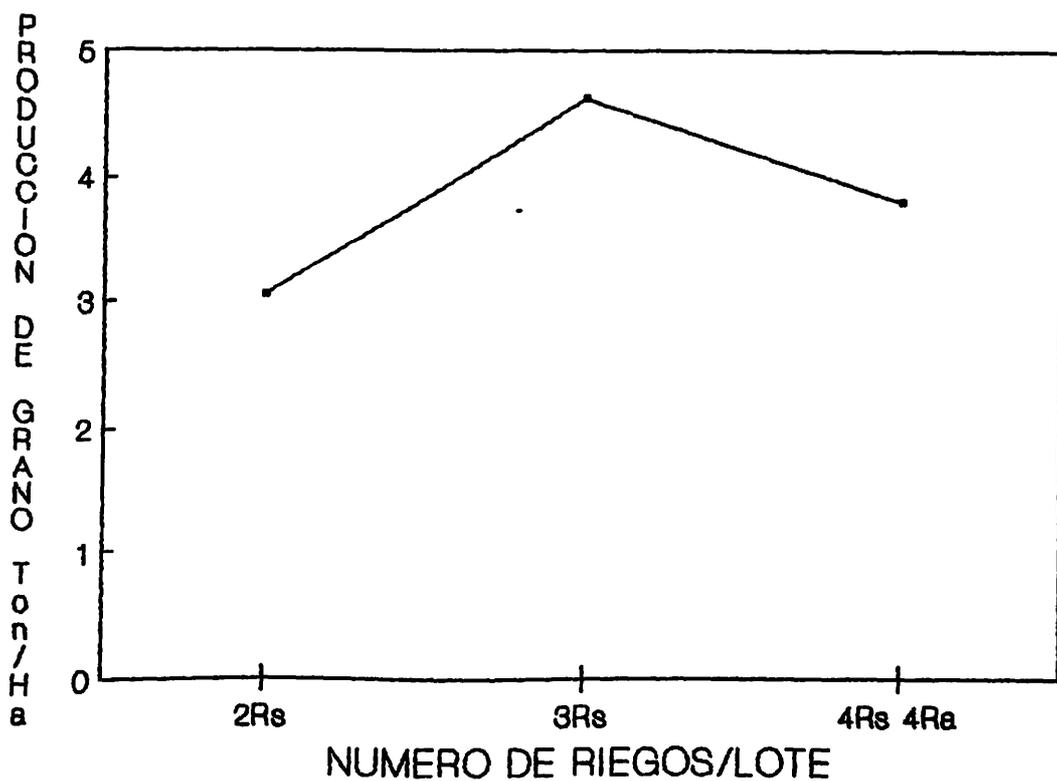


Figura 4.6. Producción de grano, ton/ha, para los tratamientos evaluados en el experimento de sorgo para grano.

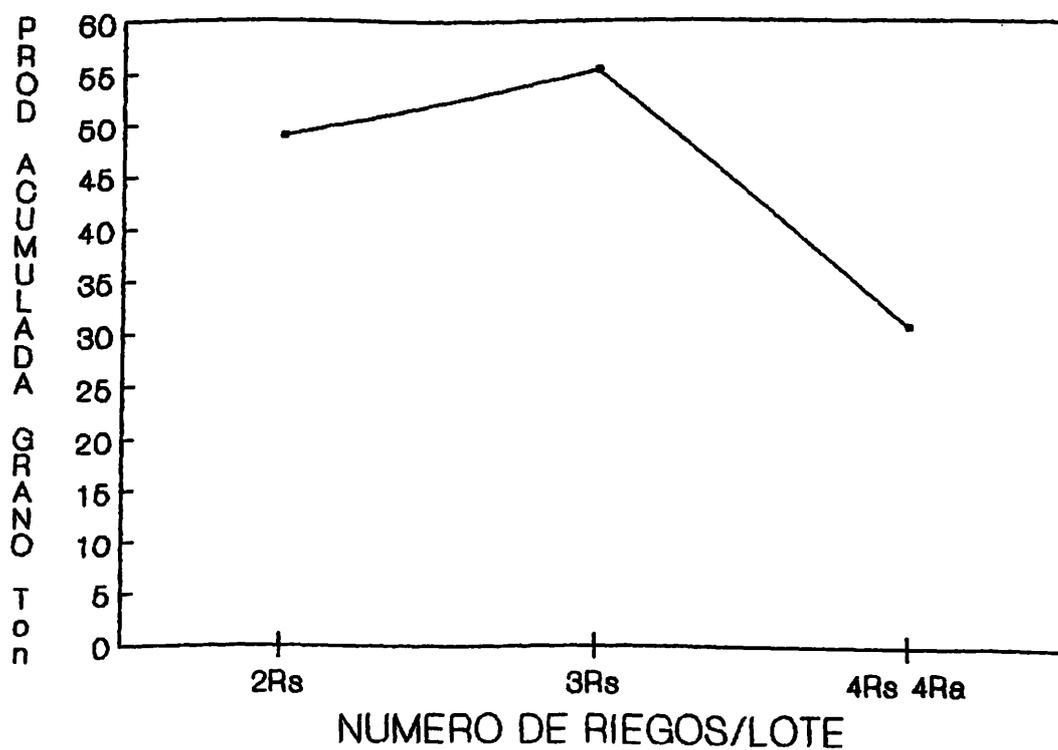


Figura 4.7. Producción acumulada de grano, ton, por número de riegos en el experimento de duilas en sorgo para grano en Zaragoza, Coah

agricultura extensiva porque alcanza a sembrar más lotes, no repercute significativamente en el rendimiento total de la unidad productiva, como se muestra en la Figura 4.7.

El tratamiento 3Rs/3L~ se califica como el óptimo ya que sobresale en rendimiento, tanto en producción/lote como en producción acumulada/módulo. Por su parte, en los tratamientos con cuatro riegos el manejo de agua en las parcelas conduce a una sobreirrigación la cual, además de representar un desperdicio de agua, reduce la producción de grano.

El tratamiento con el que se obtuvo la mayor producción ( $P \leq 0.05$ ) en la primera fecha de siembra fue el de tres riegos secuenciales aplicados a tres lotes (3Rs/3L~), estadísticamente superior a los demás tratamientos, con un rendimiento de 4.9 ton/ha. Mientras que con 4Rs/2L, 4Ra/2L y 2Rs/4L se obtuvieron 4.2, 3.9 y 3.5 ton/ha, respectivamente (Figura 4.8). En la segunda fecha de siembra ocurrió algo similar, siendo los valores de 4.7, 3.6, 3.4 y 3.4 ton/ha para 3Rs/3L, 4Ra/2L, 4Rs/2L y 2Rs/4L, respectivamente.

En la misma Figura 4.8 se puede comparar la producción promedio de grano para las dos primeras fechas de siembra (marzo 28 y abril 12), ambas dentro del periodo recomendado por el Campo Experimental Zaragoza, encontrando que el mejor tratamiento ( $P \leq 0.01$ ) también lo fue el aplicar

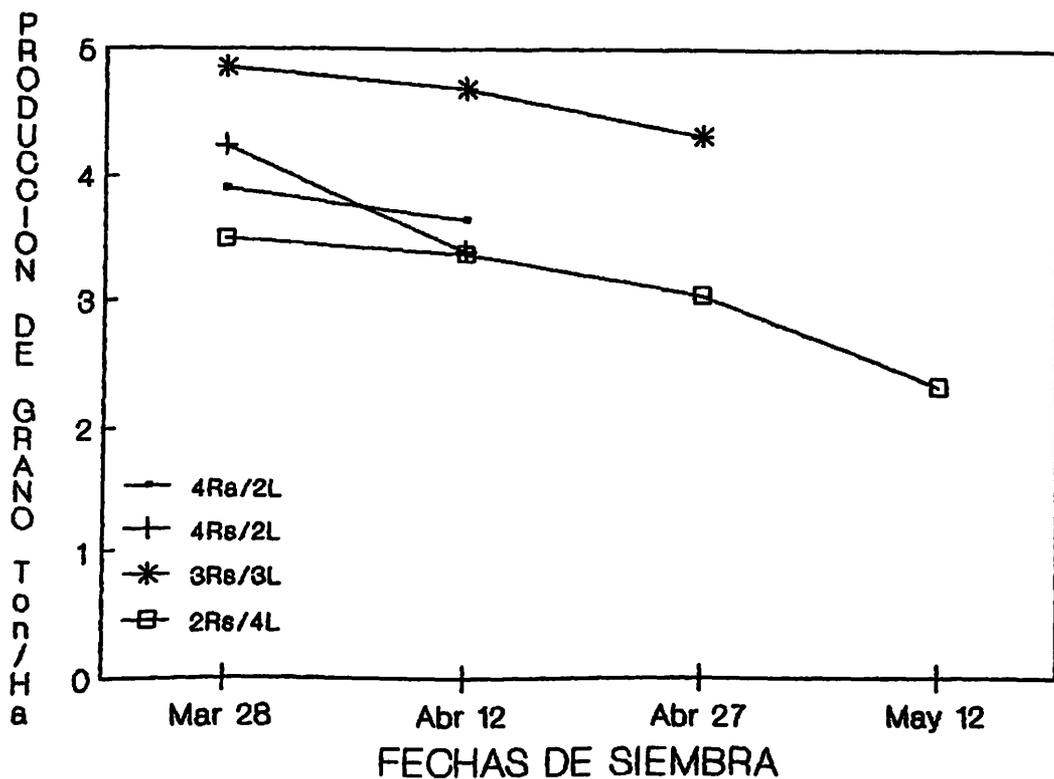


Figura 4.8. Producción de grano, ton/ha, por fecha de siembra en cada uno de los tratamientos en riego por dulas en sorgo.

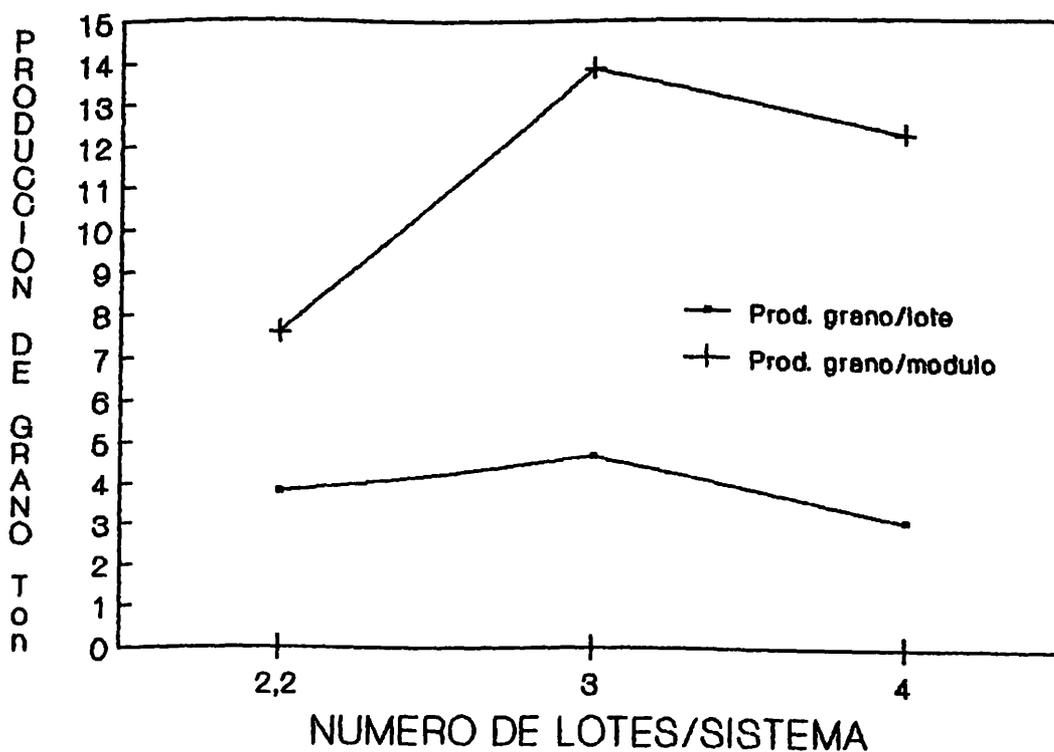


Figura 4.9. Producción de grano por número de lotes y producción acumulada por número de riegos en sorgo para grano.

tres riegos secuenciales a tres lotes (3Rs/3L~), con un valor de 4.8 ton/ha; los rendimientos obtenidos con los demás tratamientos fueron de 3.81, 3.77 y 3.42 ton/ha para 4Rs/2L, 4Ra/2L y 2Rs/4L, respectivamente (Cuadro B.17). Al sembrar después del 28 de marzo la producción de grano se reduce, lo cual indica que conforme se retrasan las siembras de primavera (ciclo temprano) los rendimientos cosechables tienden a ser menores.

En producción acumulada de sorgo/sistema, el mejor tratamiento también lo fue el de tres riegos aplicados secuencialmente a tres lotes (3Rs/3L~), con 13.9 ton el cual, de acuerdo a la Figura 4.9, superó estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) a 2Rs/4L, 4Rs/2L y 4Ra/2L, con valores de 12.2, 7.6 y 7.5 ton, respectivamente (Cuadro B.18).

El potencial de rendimiento asociado con las fechas óptimas de siembra se ve reducido por el mal manejo del agua, como lo muestra el paralelismo y la separación entre las curvas 3Rs/3L~ y 2Rs/4L en la Figura 4.8. El cruce entre las curvas 4Rs/2L y 4Ra/2L indica que existe una interacción fechas de siembra x intervalos de riego, la cual puede compensar el retraso en las fechas de siembra mediante un manejo de agua calendarizado en base a fenología de la planta (aplicación del agua en fenofases críticas). Pero este aspecto requiere un mayor estudio y más trabajo de programación para lograr un ajuste entre el calendario de

riegos usado en las parcelas y el sistema de distribución de agua por turnos fijos empleado en la región.

Las producciones de grano/módulo graficadas en la Figura 4.9 se analizaron económicamente de acuerdo al procedimiento del ingreso neto descrito previamente en la sección de Materiales y Métodos; cuestión discutida en párrafos siguientes.

#### Maximización del Ingreso Neto

En el Cuadro 4.2 se presenta la concentración de resultados del análisis económico, donde se aprecia que con la aplicación de tres riegos secuenciales a tres lotes (3Rs/3L~) se obtiene el mayor ingreso neto: 10'384,920 pesos, es decir, 865,410 pesos por cada una de las 12 ha establecida con sorgo bajo este sistema de distribución de

Cuadro 4.2. Producción unitaria y acumulada de grano e ingreso neto obtenidos con cada uno de los sistemas de producción de sorgo evaluados en el estudio.

# De Riegos	# De Lotes	Rendimiento Medio ton/ha	Producción Sistema* ton	Ingreso Bruto* mdp	Costo de Produc.* mdp	Ingreso Neto* mdp
4Ra	2	3.773	30.184	10,564	6,013	4,552
4Rs	2	3.815	30.520	10,682	6,013	4,669
3Rs	3~	4.620	55.440	19,404	9,019	10,385
2Rs	4	3.055	48.880	17,108	12,025	5,083

mdp = miles de pesos

\* = Calculado para módulos, donde cada lote equivale a 4 ha.

agua. Los costos de producción de sorgo/ha son de 751,590 pesos y el precio de la tonelada de sorgo es de 350,000 pesos, información obtenida del Distrito de Desarrollo de Cd. Acuña, Coah.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio se puede observar que la maximización del rendimiento de sorgo para grano se obtiene con tres riegos aplicados en forma secuencial a tres lotes, de la misma forma que con dicho tratamiento se obtiene la maximización del ingreso neto, ya que el aplicar mayor cantidad de riegos a menor número de lotes no incrementó el rendimiento unitario ni acumulado por sistema de producción.

Estos resultados coinciden parcialmente a lo señalado por Briones (1989), quien indica que al suboptimizar el rendimiento por parcela se incrementa el número de lotes "deficientemente" regados cuya producción acumulada incrementa significativamente el rendimiento total de la unidad productiva: lo cual ocurrió también en este estudio hasta el punto de aplicar tres riegos a tres lotes, pero disminuyó con la aplicación de solamente dos riegos a cuatro lotes, ya que en este nivel la producción acumulada se redujo de 55.44 a 48.88 ton (Cuadro 4.2).

Rodriguez (1987), en un estudio para evaluar el efecto de la tensión de humedad del suelo sobre las etapas

de desarrollo y producción del sorgo, y Rodríguez y Martínez (1988) en otro estudio donde evaluaron la respuesta del cultivo a diferentes calendarios de riego, encontraron que en el norte de Coahuila, los mejores rendimientos de sorgo se obtienen con la aplicación de tres riegos y que el cultivo no responde a una mayor aplicación de agua, lo cual permite explicar la menor producción de grano con la aplicación de cuatro riegos alternos o secuenciales a dos lotes (4Ra/2L y 4Rs/2L) con respecto al tratamiento de tres riegos secuenciales a tres lotes (3Rs/3L~).

Por lo que se deduce que con estos tratamientos se tiene una baja eficiencia en el uso de agua por parte del productor, con el consecuente desperdicio de agua que reduce drásticamente la superficie regable y también el rendimiento y producción acumulada, como lo señala Briones (1989).

Se podría dar el caso de sembrar una mayor superficie aplicando solamente un riego a cada lote, pero bajo estas condiciones se convertiría al sorgo en un "cultivo de aventura" ya que dependería prácticamente de la precipitación pluvial que ocurriera durante el ciclo vegetativo y la experiencia, apoyada por la información climática, indica que este tipo de siembras tienen éxito en solo un 10 por ciento y con rendimientos muy bajos.

Rodriguez (1988) usando el cultivar de sorgo RB-3030, encontro que con laminas de riego de 13 cm, con un solo riego aplicado a la siembra se obtenia un rendimiento de 2.3 ton/ha mientras que con dos riegos el rendimiento variaba de 2.7 a 3.1 ton/ha, de acuerdo a la etapa en que se diera el segundo.

Briones (1989), señala que, en condiciones de temporal, al no aplicar riegos la superficie que puede ser sembrada se vuelve ilimitada pues no está condicionada a una dotación por lo que el rendimiento esperado en la unidad productiva se elevaria en años con buen temporal cruzando la región de incertidumbre. Pero esto, sujeto a probabilidades, solo ocurriria en años con lluvias no torrenciales, mayores de 200 mm y bien distribuidas durante el ciclo del cultivo, pudiéndose obtener rendimientos económicos aceptables, especialmente si se implementan sistemas de cosecha de agua en microcuencas que pueden ayudar a potencializar el beneficio derivable de la lluvia. Sin embargo, esta técnica no está al alcance de los objetivos de este estudio.

#### Sistema de Producción más Productivo

Los resultados obtenidos indican que al distribuir los ocho turnos de agua en dos lotes se sobreirriga al cultivo, con la consecuente disminución en rendimiento unitario y acumulado de los sistemas de producción.

En cambio, cuando la misma cantidad de turnos de agua se distribuye en tres o en cuatro lotes, la producción unitaria aumenta en el primer caso y disminuye en el segundo, pero la producción acumulada por sistema se incrementa significativamente en un 183.7 y 161.9 por ciento, respectivamente. Sin embargo, en años lluviosos se puede incrementar la productividad del sistema de dos riegos secuenciales a cuatro lotes (2Rs/4L) aún por encima del de tres riegos secuenciales a tres lotes (3Rs/3L~).

En base a los resultados, se puede ver que para las condiciones agroecológicas bajo las que se realizó el estudio, la optimización en el uso de agua por parte del productor para un sistema de producción de sorgo regado por turnos fijos (dulas) se realiza con la aplicación de tres riegos secuenciales a tres lotes, por lo que dicho tratamiento se considera que es el de mayor eficiencia por las producciones unitarias y acumuladas obtenidas y por el ingreso neto generado.

#### Esquema operativo para Manejo de Agua

La administración del agua recibida por turnos fijos (dulas) en una unidad productiva puede facilitarse apoyando la distribución del recurso en un diagrama de bloques o en una gráfica de Gant. Ambas herramientas permiten ensayar las múltiples alternativas y seleccionar la mejor decisión al

conformar un módulo con lotes establecidos en el periodo óptimo de fechas y aplicando los riegos a frecuencia apropiada, todo en concordancia con el sistema de dulas.

Al representar la variable "riego" como una entrada ( $R_{ijk}$ ) al sistema productivo del sorgo, en donde los índices  $i$  = número de riegos aplicados por lote;  $j$  = lote que recibe el riego  $i$ , y  $k$  = número de dula recibido en la unidad productiva, se tendría entonces para el tratamiento 3Rs/3L<sup>~</sup> el siguiente esquema operativo:

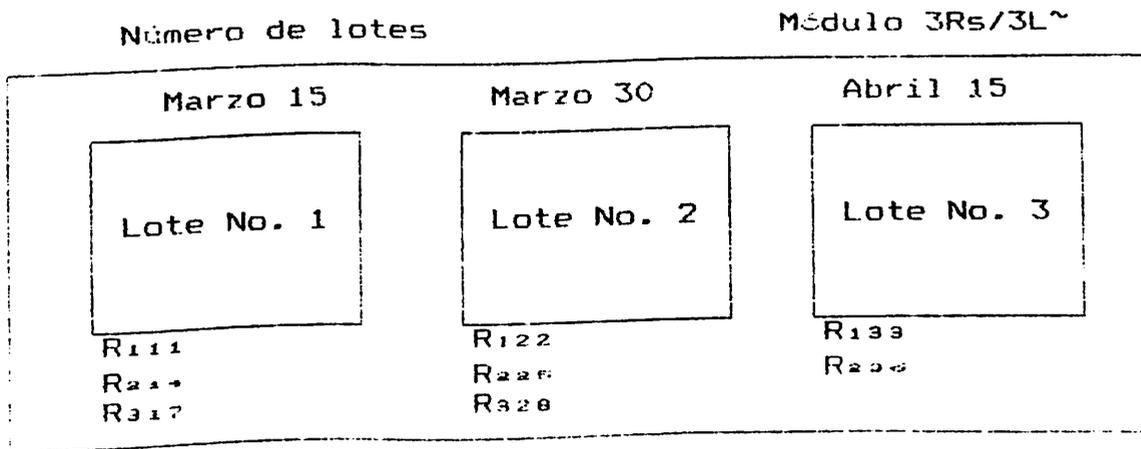


Figura 4.10. Número de lotes, fechas de siembra y manejo de agua dado al tratamiento 3Rs/3L<sup>~</sup> en el experimento de sorgo para grano establecido en Zaragoza, Coah.

Para el mejor tratamiento, el periodo óptimo de siembra: 15 de marzo-15 de abril, la frecuencia de riegos apropiada fue 0-45-90 días después de la siembra, establecer tres lotes en siembras escalonadas.

Las variaciones por los subíndices son:

No. de riego ?  $i = 1, 2, 3, \dots, R_s$

No. de lote ?  $j = 1, 2, 3, \dots, L$

No. de dula ?  $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots, R_s * L$

La diferencia entre  $R_{ijk}$  para un mismo lote, multiplicado por la duración de la dula, proporciona el intervalo de riego para el cultivo. En una unidad productiva, el sistema de producción de sorgo puede estar interactuando o compitiendo con otros sistemas, pero aunque tal situación fue prevista no se ensayo en este estudio.

## CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

1. La optimización en el aprovechamiento de agua, bajo el sistema de distribución por turnos fijos típico del norte de Coahuila, se alcanzó con el tratamiento 3Rs/3L~, que consiste en la aplicación de tres y dos riegos secuenciales a dos y un lote de sorgo, respectivamente.

2. Con esta tecnología de uso y manejo de agua se logró el mayor rendimiento acumulado y por unidad de superficie, con 55.4 ton/módulo y 4.6 ton/ha, respectivamente.

3. Con el tratamiento 3Rs/3L~, se maximizó el ingreso neto de un sistema de producción de sorgo para grano, el cual alcanzó un total de 10.4 millones de pesos en un módulo de 12 hectáreas y superó en más del 100 por ciento a los demás sistemas de producción. Por lo mismo, aquellos productores que tienen sistemas de producción de sorgo con cuatro o dos riegos pierden dinero al desaprovechar la misma oportunidad de desarrollo.

4. El sistema de producción con dos riegos a cuatro lotes podría superar al de tres riegos a tres lotes por su mayor superficie, pero solamente en años lluviosos.

## CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

1. La optimización en el aprovechamiento de agua, bajo el sistema de distribución por turnos fijos típico del norte de Coahuila, se alcanzó con el tratamiento 3Rs/3L~, que consiste en la aplicación de tres y dos riegos secuenciales a dos y un lote de sorgo, respectivamente.

2. Con esta tecnología de uso y manejo de agua se logró el mayor rendimiento acumulado y por unidad de superficie, con 55.4 ton/módulo y 4.6 ton/ha, respectivamente.

3. Con el tratamiento 3Rs/3L~, se maximizó el ingreso neto de un sistema de producción de sorgo para grano, el cual alcanzó un total de 10.4 millones de pesos en un módulo de 12 hectáreas y superó en más del 100 por ciento a los demás sistemas de producción. Por lo mismo, aquellos productores que tienen sistemas de producción de sorgo con cuatro o dos riegos pierden dinero al desaprovechar la misma oportunidad de desarrollo.

con la siembra escalonada de dos, dos, tres y cuatro lotes (2L, 2L, 3L y 4L) en los que se distribuyeron ocho dulas (cada 15 días) para aplicar a cada lote cuatro riegos alternos (4Ra) y cuatro, tres y dos riegos secuenciales (4Rs, 3Rs y 2Rs), respectivamente. En la región, se considera que en promedio con una dula de 12 hr se pueden regar 4 ha por lo que, en el estudio, se hizo equivalente a cada lote. No se consideró la opción de evaluar dos cultivos simultáneamente. Los cuatro módulos se distribuyeron en campo bajo un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se determinó la productividad de cada sistema regado por dulas, con variable número de riegos, para optimizar el uso de agua por parte del productor en función del ingreso neto obtenido en el sistema de producción y del número de lotes/módulo. Las variables evaluadas en planta fueron: altura final, peso de mil granos (PMG), producción de materia seca y producción de grano, evaluadas al final así como para cada una de las cuatro fechas de siembra. Los resultados indican que hubo diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en casi todas las variables de respuesta medidas en plantas, excepto en altura final/módulo ( $P \geq 0.05$ ). El tratamiento con el que se obtuvo el mayor rendimiento de grano ( $P \leq 0.01$ ), tanto por unidad de superficie como por sistema de producción, fue el de tres riegos secuenciales aplicados a tres lotes (3Rs/3L~) con 4.6 ton/ha y 55.4 ton/módulo, respectivamente. Además, fue el tratamiento que optimizó el aprovechamiento de agua,

ya que alcanzo la mayor redituabilidad (10.4 millones de pesos para una superficie equivalente a 12 ha). En un estudio similar realizado con trigo, se encontró que al sub-optimizar el riego se disminuye el rendimiento/lote, pero se incrementa el número de lotes y, con ello, la producción acumulada de grano. Se concluye que, para las condiciones en las que se desarrolló el estudio, la optimización en el uso de agua se obtiene con tres riegos aplicados a tres lotes (excepto al último lote, al cual solamente se aplican dos), ya que con esta tecnología de uso y manejo de agua se obtiene el mayor rendimiento de grano, por unidad de superficie y acumulado, con 4.6 ton/ha y 55.4 ton/módulo, respectivamente; además, se maximiza el ingreso el ingreso neto de la unidad productiva (10.4 millones de pesos en un módulo equivalente a 12 ha), superando en más del 100 por ciento a los otros sistemas de producción. Debido a ello, los agricultores que tienen sistemas de producción de sorgo con cuatro o dos riegos, dejan de ganar dinero al desaprovechar la misma oportunidad de desarrollo.

## LITERATURA CITADA

- American Society of Civil Engineering: Research and Education Administrative Comitee. 1989. Research needs in irrigation and drainage. J. of Irrig. and Drain. Eng. 115(4):714-721.
- Amir, I., Y. Friedeman, S. Sharon, and A. Ben-David. 1976. A combined model for operating irrigated agricultural systems under uncertainties. Trans. ASAE. 19(2):299.
- Arlosoroff, S. 1978. Sizing up irrigation development. Irrigation age. 13(2):70.
- Baumhardt, R.L., R.E. Zartman, and P.W Unger. 1985. Grain sorghum response to tillage method used during fallow and to limited irrigation. Agron. J. 77:643-646.
- Bawazir, A.A.A., and D.B. Idle. 1989. Drought resistance and root morphology in sorghum. Plant and soil 119, 217-221.
- Bernardo, D.J., N.K. Whittlessey, K.E. Saxton, and D.L. Bassett. 1988. Irrigation optimization under limited water supply. 31(3):712-719
- Briones S., G. 1989. Productividad de un patrón de cultivos regado por tandeos. Terra. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 7(1):64-70.
- Clothier, B. E. 1989. Research imperatives for irrigation science. J. of Irrig. and Drain. Eng. 115(3):421-448.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), International Water Resources Association (IWRA) e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 1991. Conclusiones generales del Seminario Internacional Sobre Uso Eficiente del Agua. México, D.F.
- English, M.J. 1981. The uncertainty of crop models in irrigation optimization. Trans. ASAE. 917-928.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen adaptado a las condiciones climáticas de la Republica Mexicana. Instituto de Geografía-UNAM. México. 264 p.
- Heatherly, L.G., R.A. Wesley, and C.D. Elmore. 1990. Corn, sorghum, and soybean response to irrigation in the Mississippi River Alluvial Plain. Crop. Sci.

30:665-672.

- Hernández R., P. 1986. Efecto de deficiencias de humedad sobre el comportamiento del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.) en el norte de Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Méx. 20 p.
- Hooker, M.L. 1985. Grain sorghum yield and yield component response to timing and number of irrigations. *Agron. J.* 77:810-812.
- Howell, T. 1990. Irrigation grain sorghum. *Valley Magazine*. Vol. 4(2):8-9.
- Howell, T.A., E.A. Hiler, and D.L. Redell. 1975. Optimization of water use efficiency under high frequency irrigation- II. System simulation and dynamic programming. *Trans. ASAE*. 879-887.
- Le Moigne, G.J.M.; H.D. Frederiksen, and W.J. Ochs. 1989. Future irrigation prospects and actions in developing countries. *J. of Irrig. and Drain. Eng.* 115(4):656-660.
- Lewis, R.B., E.A. Hiler, and W.R. Jordan. 1974. Susceptibility of grain sorghum to water deficit at three growth stages. *Agron. J.* 66:589-591.
- Manjarrez S., P., V.A González H., L.E. Mendoza O., and E.M. Engelman. 1989. Drought stress effects on the grain yield and panicle development of sorghum. *Can. J. Plant Sci.* 69:631-641
- Martin, D., J. Van Brocklin, and G. Wilmes. 1989. Operating rules for deficit irrigation management. *Trans. ASAE*. 32(4):1207-1215.
- Martin, D.L., J.R. Gilley, and R.J. Supalla. 1989. Evaluation of irrigation planning decisions. *J. of Irrig. and Drain. Eng.* 115(1):58-77.
- Montenegro H., F.J. 1985. Respuesta del sorgo de grano al déficit progresivo de humedad. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coah.
- Musick, J.T., and D.A. Dusek. 1971. Grain sorghum response to number, timing and size of irrigation in the southern High Plains. *Trans. ASAE*. 14:401-404.
- Myers, M. 1992. Grain sorghum, the moisture miser. *Valley Magazine*. Vol 4(2):9.

- Pleban, S., J.W. Labadie, and D.F. Heerman. 1983. Optimal short term irrigation schedules. Trans. ASAE. 26(1):141-147.
- Reddy, J.M., and W. Clyma. 1982. Optimizing surface irrigation system design parameters: simplified analysis. Trans. ASAE. 966-974.
- Robles S., R. 1982. Producción de granos y forrajes. 2a. Edición. Editorial LIMUSA. México, D.F. 595 p.
- Rodríguez G., A. 1986. Respuesta del sorgo de grano a diferentes contenidos de humedad en el suelo en dos etapas de desarrollo. In: Memorias del XVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Colima, Col. México. 45 p.
- \_\_\_\_\_. 1987. Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre las etapas de desarrollo y producción del sorgo. In: Memorias del XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 214 p.
- \_\_\_\_\_. 1988. Respuesta del sorgo a la tensión hídrica durante las etapas vegetativa y reproductiva. In: 1a. Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. SARH. CIFAP-COA. Saltillo, Coah. 76 p.
- \_\_\_\_\_ y J. Martínez V. 1988. Respuesta del sorgo a diferentes calendarios de riego. In: Avances de investigación 1988. CIFAP-COA. Saltillo, Coah. S/P.
- Rogers, D.H., and R.L. Elliot. 1989. Irrigation scheduling using crop growth simulation, risk analysis, and weather forecast. Trans. ASAE. 32(5):1669-1677.
- Ron, R. 1978. Computers and San Joaquin irrigators. Irrigation Age. 13(2):31.
- Santamaria, J.M., M.M. Ludlow, and S. Fukai. 1990a. Contribution of osmotic adjustment to grain yield in sorghum bicolor (L.) Moench under water-limited conditions. I. Water stress before anthesis. Aus. J. Agric. Res. 41, 51-65.
- \_\_\_\_\_, 1990b. Contribution of osmotic adjustment to grain yield in sorghum bicolor (L.) Moench under water-limited conditions. II. Water stress after anthesis. Aus. J. Agric. Res. 41, 51-65.
- Smith, R.L., C.S. Hoveland, and W.W. Hanna. 1989. Water stress and temperature in relation to seed germination of pearl millet and sorghum. Agron. J. 81:303-305.

- Solomon, K.H. 1982. Resource utilization efficiency. Trans. ASAE. 93-95.
- Stewart, J.I., R.D. Misra, W.O. Pruitt, and R.M. Hagan. 1975. Irrigating corn and grain sorghum with a deficient water supply. Trans. ASAE. 18:270-280.
- Stockle, C.O., and W.A. Dugas. 1989. Effect of weather variability and precipitation uncertainty on grain sorghum irrigation scheduling. Trans. ASAE. 32(6):1939-1943.
- Trimmer, W. 1977. Timeliness, not quantity, most important in weath irrigation. Irrigation Age. 11(6):90, 94.
- Udeh, C.N., and J.R. Busch. 1982. Optimal irrigation management using probabilistic hydrologic and irrigation efficiency parameters. Trans. ASAE. 954-960.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1979. Irrigation with limited water and energy. Irrigation Age. 13(5):28.
- Valmont Industries, Inc. 1980. Everything you need to know about cutting irrigation energy costs. Printed in USA. 13 YP5 AD. 10044: 10.
- Villalobos, F.J., and E. Fereres. 1989. A simulation model for irrigation scheduling under variable rainfall. Trans. ASAE. 32(1):181-187.
- Westerholt, S. 1980. Don't waste water: Know the system, plant and soil. Irrigation Age. 14(7):92-93.
- Wong R., W., A. Muñoz Orozco y L.E. Mendoza Onofre. 1983. Efecto de la sequía sobre características vegetativas, reproductivas y de eficiencia en variedades de sorgo. Colegio de Postgraduados de Chapingo, Méx. 101-115.
- Yaron, D., A. Dinar, and S. Meyers. 1978. 1978. Irrigation scheduling -theoretical approach and applications problems. Water Resources Management. 1:17-31.

A P E N D I C E    A

Cuadro A.1. Datos de altura final de planta/sistema, en cm, primera y segunda fecha de siembra y promedio de las dos fechas para el experimento de riegos por dulas en sorgo para grano.

Tratamiento	Fecha	B l o q u e				media
		I	II	III	IV	
4Ra/2L	Mar 28	83.0	93.0	93.5	76.0	86.4
	Abr 12	77.5	94.0	83.5	101.0	89.0
media		80.2	93.5	88.5	88.5	87.7
4Rs/2L	Mar 28	71.0	102.0	61.0	63.5	74.4
	Abr 12	68.0	83.5	101.5	68.5	80.4
media		69.5	92.7	81.2	66.0	77.4
3Rs/3L~	Mar 28	63.5	76.0	71.0	61.0	67.9
	Abr 12	72.0	83.5	79.0	76.0	77.6
media		67.7	79.7	75.0	68.5	78.0
	Abr 27	97.0	111.0	63.0	83.5	88.6
2Rs/4L	Mar 28	81.5	83.0	93.5	83.5	85.4
	Abr 12	86.0	81.0	78.5	56.0	75.4
media		83.7	82.0	86.0	69.7	77.3
	Abr 27	72.0	64.0	61.0	56.0	63.2
	May 12	83.0	93.0	83.5	81.0	85.1
Media General						80.0

Cuadro A.2. Datos de peso de mil granos/sistema, en gr, primera y segunda fecha de siembra y promedio de las dos fechas para el experimento de riegos por dulas en sorgo para grano.

Tratamiento	Fecha	B l o c u e				media
		I	II	III	IV	
4Ra/2L	Mar 28	33.49	35.10	30.48	30.05	32.28
	Abr 12	29.28	30.32	28.05	26.75	28.60
media		31.38	33.55	29.27	28.40	30.52
4Rs/2L	Mar 28	32.69	27.42	30.92	34.61	31.41
	Abr 12	29.58	30.61	26.93	31.44	29.64
media		31.13	29.01	28.92	28.02	30.44
3Rs/3L	Mar 28	29.30	30.20	32.55	29.81	30.46
	Abr 12	24.95	29.32	28.57	28.14	27.74
media		27.12	29.76	30.56	28.97	28.78
	Abr 27	27.13	28.53	30.54	26.38	28.14
2Rs/4L	Mar 28	24.42	32.01	25.19	27.35	27.24
	Abr 12	24.42	31.53	24.99	26.69	26.91
media		24.42	31.77	25.09	27.02	26.02
	Abr 27	23.87	29.87	25.81	23.29	25.71
	May 12	24.23	26.61	23.66	22.47	24.24
Media General						28.9

Cuadro A.3 Datos de producción de materia seca/sistema, en kg/ha, primera y segunda fecha de siembra y promedio de las dos fechas para el experimento de riegos por dulas en sorgo para grano.

Tratamiento	Fecha	B l o q u e				media
		I	II	III	IV	
4Ra/2L	Mar 28	6731.7	7810.4	6882.3	9147.8	7643.0
	Abr 12	5969.6	5427.5	5192.3	7484.6	6018.5
media		6350.6	6618.9	6037.3	8316.2	6830.8
4Rs/2L	Mar 28	7756.7	9150.6	9581.7	9348.5	8959.4
	Abr 12	6607.5	6100.5	7528.5	6769.3	6751.4
media		7182.1	7625.5	8551.1	8058.9	7855.4
3Rs/3L~	Mar 28	8719.5	9423.6	10017.3	8327.4	9121.9
	Abr 12	8235.1	8615.8	9226.4	9108.1	8796.3
media		8477.3	9019.7	9621.8	8717.7	8627.4
2Rs/4L	Mar 28	6784.2	9033.7	8718.2	6787.9	7831.0
	Abr 12	5879.6	7787.7	7749.5	7331.0	7186.9
media		6331.9	8410.7	8233.8	7059.4	7075.4
	Abr 27	5427.3	7476.3	8395.3	6380.6	6919.9
	May 12	4522.8	6853.2	7426.6	6652.2	6363.7

Cuadro A.4. Datos de producción de grano/sistema, en kg/ha, primera y segunda fecha de siembra y promedio de las dos fechas para el experimento de riegos con dulas en sorgo para grano.

Tratamiento	Fecha	B i o g u e				media
		I	II	III	IV	
4Ra/2L	Mar 28	2894.4	4319.3	4477.2	3909.6	3900.1
	Abr 12	3135.6	3987.1	4132.8	3330.4	3646.5
media		3015.0	4153.2	4305.0	3620.0	4241.3
4Rs/2L	Mar 28	3672.0	4331.9	4536.0	4425.6	4241.2
	Abr 12	3128.0	2888.0	3564.0	3974.5	3388.6
media		3400.0	3609.9	4050.0	4199.9	3900.1
3Rs/3L <sup>~</sup>	Mar 28	4644.0	5019.0	5335.2	4435.2	4858.3
	Abr 12	4386.0	4588.7	4914.1	4850.9	4684.9
media		4515.0	4803.4	5124.6	4643.0	4858.3
	Abr 27	3869.9	4732.2	4090.7	4574.1	4316.7
2Rs/4L	Mar 28	3418.4	3475.5	3522.0	3544.1	3490.0
	Abr 12	3347.4	3383.0	3400.4	3332.4	3365.5
media		3382.9	3429.2	3461.2	3438.2	3490.0
	Abr 27	2948.6	3078.8	3442.8	2669.6	3034.9
	May 12	2412.0	2322.1	2273.1	2306.4	2328.4
Media						3750.5

A P E N D I C E    B

Cuadro B.1. Datos de altura final promedio/módulo, análisis de varianza y comparación de medias para cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B	l	o	q	u	e	s
	1	2	3	4	5	6	7
2Ra/4L	80.250	93.500	88.500	88.500			
2Rs/4L	69.500	92.750	81.250	66.000			
3Rs/3L~	77.500	90.170	71.000	73.500			
4Rs/2L	80.625	80.250	79.125	69.125			

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.05
Tratamientos	3	308.71094	102.9036	2.75	< 3.29 NS
Bloques	3	503.60156	167.8672	4.48	
Error	9	337.14844	37.4609		
Total	15	1149.46094			

C.V. = 7.64 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	Media	
4Ra/2L	87.6875	a
3Rs/3L~	78.0425	a
4Rs/2L	77.3750	ab
2Rs/4L	77.2813	ab

N.S. = 0.05

D.M.S. = 9.7896

Cuadro B.2. Datos de altura final para la primera fecha de siembra, análisis de varianza y comparación de medias para los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B	I	C	U	E	S
	1	2	3	4		
2Ra/4L	83.000	93.000	93.500	76.000		
2Rs/4L	71.000	102.000	61.000	63.500		
3Rs/3L~	63.500	76.000	71.000	61.000		
4Rs/2L	81.500	83.000	93.500	83.500		

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F. os	
Tratamientos	3	956.7500	318.9167	3.45	> 3.29	*
Bloques	3	687.5000	229.1667	2.48		
Error	9	830.2500	92.2500			
Total	15	2474.5000				

C.V. = 12.23 por ciento

#### Tabla de medias

Tratamiento	M e d i a	
4Ra/2L	86.375	a
2Rs/4L	85.375	a
4Rs/2L	74.375	ab
3Rs/3L~	67.875	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 15.3625

Cuadro B.3. Datos de altura final para la segunda fecha de siembra, análisis de varianza y comparacion de medias para los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	77.500	94.000	83.500	101.000
2Rs/4L	68.000	83.500	101.500	68.500
3Rs/3L~	72.000	83.500	79.000	76.000
4Rs/2L	86.000	81.000	78.500	56.000

#### Análisis de varianza

Fuente de Variacion	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.os
Tratamientos	3	427.04687	142.3489	0.996	< 3.29 NS
Bloques	3	395.54687	131.8489	0.922	
Error	9	1286.51562	142.9462		
Total	15	2109.10937			

C.V. = 14.83 por ciento

#### Tabla de medias

Tratamiento	M e d i a	
4Ra/2L	89.000	a
4Rs/2L	80.375	a
3Rs/3L~	77.625	a
2Rs/2L	75.375	a

N.S. = 0.05

D.M.S. = 19.1233

Cuadro B.4. Datos de altura final promedio para la primera y segunda fechas de siembra, análisis de varianza y comparación de medias para los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	80.250	93.500	88.500	88.500
2Rs/4L	69.500	92.750	81.250	66.000
3Rs/3L~	67.750	79.750	75.000	68.500
4Rs/2L	83.750	82.000	86.000	69.750

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.05	
Tratamientos	3	471.4744	157.1614	4.81	> 3.29	*
Bloques	3	495.1406	165.0469	5.06		
Error	9	293.7812	32.6424			
Total	15	1260.4062				

C.V. = 7.18 por ciento

#### Tabla de medias

Tratamiento	M e d i a	
4Ra/2L	87.687	a
2Rs/4L	80.375	ab
4Rs/2L	77.375	b
3Rs/3L~	72.750	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 9.1384

Cuadro B.5. Datos de peso de mil granos/módulo, análisis de varianza y comparación de medias para cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	31.384	32.710	29.265	28.399
2Rs/4L	31.134	29.017	28.923	33.024
3Rs/3L~	27.126	29.351	30.554	28.111
4Rs/2L	24.233	30.006	24.912	24.951

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.05
Tratamientos	3	53.110352	17.70345	3.82	> 3.29 *
Bloques	3	9.488281	3.16276	0.68	
Error	9	41.666016	4.62956		
Total	15	104.264648			

C.V. = 7.43 por ciento

#### Tabla de medias

Tratamiento	M e d i a	
4Ra/2L	30.5245	a
4Rs/2L	30.4395	a
3Rs/3L~	28.7855	ab
2Rs/4L	26.0255	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 3.4415

Cuadro B.6. Datos de peso de mil granos para la primera fecha de siembra, análisis de varianza y comparación de medias de los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	33.487	35.098	30.480	30.046
2Rs/4L	32.691	27.421	30.919	31.439
3Rs/3L~	29.301	30.198	32.554	29.811
4Rs/2L	24.416	30.006	25.194	27.354

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F. os
Tratamientos	3	65.581055	21.86035	3.55	> 3.29 *
Bloques	3	2.483398	0.82780	0.13	
Error	9	55.477539	6.16417		
Total	15	123.541992			

C.V. = 8.27 por ciento

#### Tabla de medias

Tratamiento	M e d i a	
4Ra/2L	32.2777	a
4Rs/2L	30.6175	ab
3Rs/3L~	30.4660	ab
2Rs/4L	26.7425	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 3.9711

Cuadro B.7. Datos de peso de mil granos para la segunda fecha de siembra, análisis de varianza y comparación de medias para los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	29.281	30.322	28.048	26.752
2Rs/4L	29.577	30.613	26.928	34.610
3Rs/3L~	24.951	29.325	28.568	28.145
4Rs/2L	24.415	31.532	24.986	26.691

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.05
Tratamientos	3	27.301758	9.10059	1.71	3.29 NS
Bloques	3	32.105469	10.70182	2.01	
Error	9	48.018555	5.33539		
Total	15	107.425781			

C.V. = 8.13 por ciento

#### Tabla de medias

Tratamiento	M e d i a	
4Rs/2L	30.4220	a
4Ra/2L	28.6009	a
3Rs/3L~	27.7472	a
2Rs/4L	26.9060	a

N.S. = 0.05

D.M.S. = 3.6945

Cuadro B.8. Datos de peso de mil granos promedio de la primera y segunda fecha de siembra, análisis de varianza y comparación de medias para los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	31.384	32.710	29.265	28.398
2Rs/4L	31.134	29.017	28.923	33.024
3Rs/3L~	27.126	29.761	30.561	28.978
4Rs/2L	24.415	31.769	25.090	27.022

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.05
Tratamientos	3	31.155273	10.385091	1.94	3.29 NS
Bloques	3	14.470703	4.823568	0.90	
Error	9	48.114258	5.346029		
Total	15	93.740234			

C.V. = 7.89 por ciento

#### Tabla de medias

4Rs/2L	30.5245	a
4Ra/2L	30.4393	a
3Rs/3L~	29.1065	a
2Rs/4L	27.0740	a

N.S. = 0.05

D.M.S. = 3.6982

Cuadro B.9. Datos de producción de materia seca, análisis de varianza y comparación de medias para cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	6.3506	6.6189	6.0373	8.3162
2Rs/4L	7.1821	7.6255	8.5551	8.0589
3Rs/3L~	8.0733	8.9748	8.7871	8.6774
4Rs/2L	5.6535	7.7887	8.0724	6.7879

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.05
Tratamientos	3	7950.7200	2650.240	4.91	> 3.29 *
Bloques	3	3350.9760	1116.992	2.70	
Error	9	4859.1360	539.904		
Total	15	16160.8320			

C.V. = 9.67 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a	
3Rs/3L~	8.6274	a
4Rs/2L	7.8554	ab
2Rs/4L	7.0754	b
4Ra/2L	6.8308	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 1.1753

Cuadro B.10. Datos de producción de materia seca para la primera fecha de siembra, análisis de varianza y comparación de medias de cada uno de los tratamientos en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	6.7317	7.8104	6.8823	9.1478
2Rs/4L	7.7567	9.1506	9.5817	9.3485
3Rs/3L~	8.7195	9.4236	10.0173	8.3274
4Rs/2L	6.7842	9.0337	8.7182	6.7879

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.05
Tratamientos	3	6921.088	2307.029	2.92	< 3.29 NS
Bloques	3	4718.336	1572.779	1.99	
Error	9	7108.480	789.831		
Total	15	18747.904			

C.V. = 10.59 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a	
3Rs/3L~	9.1219	a
4Rs/2L	8.9584	ab
2Rs/4L	7.8310	ab
4Ra/2L	7.6430	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 1.4215

Cuadro B.11. Datos de producción de materia seca para la segunda fecha de siembra, análisis de varianza y comparación de medias de cada uno de los tratamientos en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	5.9696	5.4275	5.1923	7.4846
2Rs/4L	6.6075	6.1005	7.5285	6.7693
3Rs/3L~	8.2351	8.6158	9.2264	9.1081
4Rs/2L	5.8796	7.7877	7.7495	7.3310

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.01
Tratamientos	3	16580.352	5526.784	10.20	> 5.42 **
Bloques	3	2394.368	798.123	1.47	
Error	9	4875.008	541.668		
Total	15	23849.728			

C.V. = 10.24 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a		M e d i a	
3Rs/3L~	8.7963	a	8.7963	a
2Rs/4L	7.1869	b	7.1869	ab
4Rs/4L	6.7514	b	6.7514	b
4Ra/2L	6.0185	b	6.0185	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 1.1772

N.S. = 0.01

D.M.S. = 1.6914

Cuadro B.12. Datos de producción promedio de materia seca de la primera y segunda fechas de siembra, análisis de varianza y comparación de medias para los tratamien--tos del experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	6.3507	6.6189	6.0373	8.3162
2Rs/4L	7.1821	7.6255	8.5551	8.0589
3Rs/3L~	8.4773	9.0197	9.6218	8.7177
4Rs/2L	6.3319	8.4107	8.2338	7.0594

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.01
Tratamientos	3	9480.9600	3160.320	5.58	> 5.42 **
Bloques	3	2712.4480	904.149	1.60	
Error	9	5095.6160	566.180		
Total	15	17289.0240			

C.V. = 9.66 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a		M e d i a	
RRs/3L~	8.9591	a	8.9591	a
4Rs/2L	7.8554	ab	7.8554	ab
2Rs/4L	7.5090	b	7.5090	ab
4Ra/2L	6.8308	b	6.8308	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 1.2035

N.S. = 0.01

D.M.S. = 1.7292

Cuadro B.13. Datos de producción de materia seca acumulada por bloque, análisis de varianza y comparación de medias de cada uno de los tratamientos en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	12.701	13.238	12.075	16.632
2Rs/4L	14.364	15.251	17.110	16.118
3Rs/3L~	24.221	26.924	26.361	22.614
4Rs/2L	22.614	31.151	32.290	27.152

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.01
Tratamientos	3	603848.70	201282.9	32.09	> 5.42 **
Bloques	3	29694.98	9898.3	1.58	
Error	9	56449.02	62.7		
Total	15	689992.70			

C.V. = 12.11 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a		M e d i a	
2Rs/4L	28.301	a	28.301	a
3Rs/3L~	25.030	a	25.030	a
4Rs/2L	15.711	b	15.711	b
4Ra/2L	13.662	b	13.662	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 4.0056

N.S. = 0.01

D.M.S. = 5.7554

Cuadro B.14. Datos de producción media de grano/lote, análisis de varianza y comparación de medias para cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	3.0150	4.1532	4.3050	3.6200
2Rs/4L	3.4000	3.6099	4.0500	4.1999
3Rs/3L~	4.3000	4.7800	4.7800	4.6201
4Rs/2L	3.0316	3.0648	3.1596	2.9631

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.01
Tratamientos	3	4910.7840	1636.928	19.87	> 5.42 **
Bloques	3	875.6000	291.867	3.54	
Error	9	741.2480	82.361		
Total	15	6527.6320			

C.V. = 7.52 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a		M e d i a	
3Rs/3L~	4620.0024	a	4620.0024	a
4Rs/2L	3814.9751	b	3814.9751	b
4Ra/2L	3773.300	b	3773.3000	b
2Rs/4L	3054.7876	c	3054.7876	c

N.S. = 0.05

D.M.S. = 4.5903

N.S. = 0.01

D.M.S. = 6.5952

Cuadro A.15. Datos de producción de grano para la primera fecha de siembra, análisis de varianza y comparación de medias para cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	2.8944	4.3193	4.4772	3.9096
2Rs/4L	3.6720	4.3319	4.5360	4.4254
3Rs/3L~	4.6440	5.0190	5.3352	4.4352
4Rs/2L	3.4184	3.4755	3.5220	3.5441

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.01
Tratamientos	3	4020.4480	1340.149	12.02	> 5.42 **
Bloques	3	1457.6320	485.877	4.36	
Error	9	1003.2000	111.467		
Total	15	6481.2800			

C.V. = 8.10 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a		M e d i a	
3Rs/3L~	4.85835	a	4.85835	a
4Ra/2L	4.24132	b	4.24132	ab
4Rs/2L	3.90012	bc	3.90012	b
2Rs/4L	3.49000	c	3.49000	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 0.5340

N.S. = 0.01

D.M.S. = 0.7673

Cuadro B.16. Datos de producción de grano para la segunda fecha de siembra, análisis de varianza y comparación de medias para cada uno de los tratamientos evaluados en el experimentos de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	3.1356	3.9871	4.1328	3.3304
2Rs/4L	3.1280	2.8880	3.5640	3.9745
3Rs/3L~	4.3860	4.5887	4.9141	4.8509
4Rs/2L	3.3474	3.3830	3.4004	3.3324

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F. 01
Tratamientos	3	4644.672	1548.224	13.63	> 5.42 **
Bloques	3	565.296	188.432	1.66	
Error	9	1022.352	113.595		
Total	15	6232.320			

C.V. = 8.94 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a		M e d i a	
3Rs/3L~	4.68492	a	4.68492	a
4Ra/2L	3.64647	b	3.64647	b
4Rs/2L	3.38862	b	3.38862	b
2Rs/4L	3.36580	b	3.36580	b

N.S. = 0.05

N.S. = 0.01

D.M.S. = 0.5391

D.M.S. = 0.7745

Cuadro B.17. Datos de producción promedio de grano para la primera y segunda fechas de siembra, análisis de varianza y comparación de medias en cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	3.0150	4.1532	4.3050	3.6200
2Rs/4L	3.4000	3.6099	4.0500	4.1999
3Rs/3L~	4.5150	4.8038	5.1246	4.6430
4Rs/2L	3.3829	3.4292	3.4612	3.4382

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F. 01
Tratamientos	3	3988.416	1329.472	15.66	> 5.42 **
Bloques	3	890.320	296.773	3.49	
Error	9	764.208	84.912		
Total	15	5642.944			

C.V. = 7.38 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a		M e d i a	
3Rs/3L~	4.77164	a	4.77164.	a
4Rs/2L	3.81497	b	3.81497	b
4Ra/2L	3.77330	b	3.77330	b
2Rs/4L	3.42790	b	3.42790	b

N.S. = 0.05

D.M.S. = 0.4661

N.S. = 0.01

D.M.S. = 0.6697

Cuadro B.18. Datos de producción acumulada de grano por sistema, análisis de varianza y comparación de medias para cada uno de los tratamientos en el experimento de riegos por turnos fijos en sorgo para grano.

Tratamientos	B l o q u e s			
	1	2	3	4
2Ra/4L	6.0300	8.3060	8.6100	7.2400
2Rs/4L	6.8000	7.2199	8.1000	8.3999
3Rs/3L~	12.8999	14.3399	14.3400	13.8602
4Rs/2L	12.1264	12.2594	12.6383	11.8525

#### Análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	F.01
Tratamientos	3	124267.90	41422.64	127.89	> 5.42 **
Bloques	3	4560.00	1520.00	4.69	
Error	9	2915.07	323.897		
Total	15	131742.98			

C.V. = 5.52 por ciento

#### Tabla de Medias

Tratamiento	M e d i a		M e d i a	
3Rs/3L~	13.860000	a	13.860000	a
2Rs/4L	12.219150	b	12.219150	b
4Rs/2L	7.629950	c	7.629950	c
4Ra/4L	7.546500	c	7.546500	c

N.S. = 0.05                      N.S. = 0.01  
 D.M.S. = 0.9103                D.M.S. = 1.3079