

GRADIENTE DE HUMEDAD INDUCIDO
SISTEMATICAMENTE CON UNA LINEA DE RIEGO
POR ASPERSION EN CULTIVO DE FRIJOL
(Phaseolus vulgaris L.)
UNA METODOLOGIA PARA EVALUAR SU USO
EN FUNCIONES DE PRODUCCION

ABEL ROMAN LOPEZ

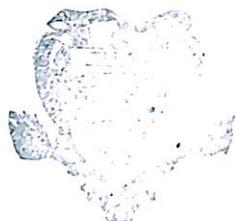
T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

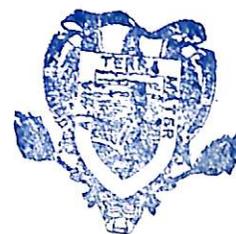
EN RIEGO Y DRENAJE

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

MAYO DE 1989

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar el grado de:

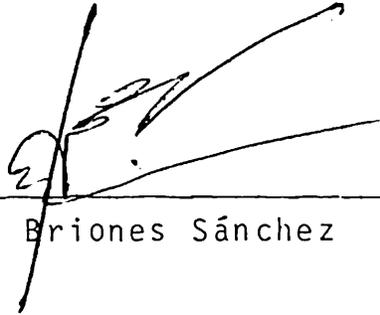
MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD
DE RIEGO Y DRENAJE



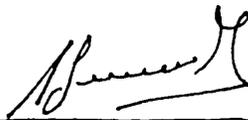
BIBLIOTECA
EGIDIO G. RESONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

COMITE PARTICULAR

Asesor principal:


M.C. Gregorio Briones Sánchez

Asesor:


M.C. Alejandro Zermeño González

Asesor:


Ph.D. Luis Fernando Flores Lui.

Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"



Subdirección Asuntos
de Postgrado


Dr. Eleuterio López Pérez
Subdirector de Asuntos de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, mayo de 1989.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo económico brindado.

Al INIFAP-SARH especialmente al CENID-RASPA por el apoyo y facilidades para lograr mi capacitación.

A UAAAN por la oportunidad brindada para capacitarme

Al Comité Particular de Asesoría por la gran ayuda que me brindaron para la realización de esta investigación

A mis Maestros quienes dedicaron una parte de su vida para transmitirme conocimientos.

A aquellas personas, compañeros y amigos de estudio y trabajo que siempre me estimularon y en todo momento participaron en forma desinteresada.

DEDICATORIA:

A memoria de mi Padre: José Román Ibarra (q.e.p.d.)

A mi Madre: Francisca López de Román
por sus dulces consejos de la vida

A mi Esposa: Hortensia
por su fé y confianza que siempre ha
tenido en mí. Y con cariño y admiraci
ción a su valentía a las adversidades
de nuestro camino.

A mis Hijos: José Abel y Edgar
Exhortándolos a seguir el ejemplo de
superación.

A mis Hermanos: Salvador, Josefina e Ismael
como recuerdo.

COMPENDIO

GRADIENTE DE HUMEDAD INDUCIDO SISTEMATICAMENTE CON UNA LINEA DE RIEGO POR ASPERSION EN EL CULTIVO DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.).

Una metodología para evaluar su uso en funciones de producción.

POR

ABEL ROMAN LOPEZ

MAESTRIA

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MAYO, 1989.

M.C. Gregorio Briones Sánchez - Asesor.

Palabras clave: niveles de riego, gradientes de riego, gradientes de humedad, frijol, función de producción.

El propósito principal de esta investigación fue determinar los niveles de riego adecuados para futuros trabajos de investigación en funciones de producción en agua y sequía, utilizando una línea de riego por aspersión. Se pro

baron 11, 6, 4 y 3 niveles de riego dispuestos geométricamente en el área irrigada por la línea de aspersión con 8 aspersores, siendo posible hacer dos observaciones de cada nivel en ambos lados. El cultivo utilizado fue el frijol variedad Pinto Laguna 80, sembrado en hileras paralelas a la tubería y a 0.7 m de espaciamiento.

La calendarización del riego se basó en el muestreo gravimétrico de humedad del suelo bajo el criterio de abatir el 60 por ciento de humedad aprovechable, en un perfil de 0-60 cm de profundidad. Se muestreaba entre la hilera 2 y 3 del cultivo en ambos lados de la regante. El agua aplicada fue captada en botes dispuestos en forma cuadrangular de 2X2 m bajo el patrón traslapado de aspersión.

Al final del ciclo del cultivo fueron regresionados el rendimiento de grano vs. el agua total aplicada, probándose tres modelos de regresión: lineal, potencial y cuadrática, encontrándose que en 6 niveles de riego, la regresión cuadrática fue significativa estadísticamente, explicando un 90 por ciento la variación del rendimiento de grano, con una confiabilidad del 97.5 por ciento de acuerdo a la prueba t student. El r^2 y grado de confiabilidad (rendimientos estimados vs. medidos) para los niveles de riego 11, 4 y 3 tuvieron variaciones; concluyéndose que para 6 niveles de riego, las funciones de producción estiman los rendimientos muy próximos a los observados y los demás niveles de riego tienden a subestimar o sobre estimar los mismos.

ABSTRACT

SOIL MOISTURE GRADIENTS INDUCED SISTEMATICALLY WITH A SPRINKLER IRRIGATION LINE IN BEANS (Phaseolus vulgaris L.)

A methodology to evaluate its use in production functions.

BY

ABEL ROMAN LOPEZ

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MAY, 1989.

M.C. Gregorio Briones Sánchez - Adviser

Key words: irrigation levels, irrigation gradients, soil moisture gradients, bean, production function.

The main purpose of this research was to determine adequate irrigation levels for futures research works on water production functions and drought, using a sprinkler irrigation line. 11, 6, 4 and 3 irrigation levels were studied, and they were disposing in a geometric pattern on irrigation area. By a lateral pipe with 8 sprinklers was possible to make two observations in every level on each

side of the line. The crop utilized to evaluate responses to irrigation levels was bean (Pinto Laguna 80); it was planted in rows 0.7 m apart, parallel to the sprinkler line.

The irrigation schedule was according to gravimetric sample of soil moisture under criterion to depletion 60 per cent of available moisture in a 0-60 cm soil profile. Samples were taken between second and third rows of crop on each side of the sprinkler line. The amounts of water applied were collected in small pans placed in 2 by 2 m squared pattern under overlapping sprinkler pattern.

At the end of the season plant samples were taken and harvested. Regression analysis was used to fit the function between the total grain yield and the amount of water applied. Three models were tested: lineal, potential and second grade polynomial. It was found for six irrigation levels that the second grade polynomial was significant statistically which it explains 90 per cent of grain yield variation, with a confidence of 97.5 per cent according test t student. r^2 and confidence grade (predicted yield Vs. measured yield) had variations for 11, 4, and 3 irrigation levels. It concludes that in six irrigation levels, the production functions estimate yields nearest to observed yields and the other irrigation levels tend to under estimate or over estimate yields.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS	
INDICE DE FIGURAS	
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
— LA ASPERSION COMO HERRAMIENTA DE INVESTI- GACION EN FUNCIONES DE PRODUCCION	4
— UNIFORMIDAD DE LAS PRECIPITACIONES DE AS- PERSION.	18
— PATRONES DE ASPERSION ADECUADOS PARA LA INVESTIGACION DE NIVELES DE HUMEDAD	21
— ADAPTACION Y RENDIMIENTO DEL FRIJOL PINTO LAGUNA	23
— FUNCIONES DE PRODUCCION	
— CONSIDERACIONES ESTADISTICAS	26
MATERIALES Y METODOS.	30
— LOCALIZACION DEL SITIO EXPERIMENTAL	30
— CARACTERISTICAS CLIMATICAS	30
— CARACTERISTICAS DEL SUELO DEL SITIO EXPERIMENTAL.	31
FISICAS Y QUIMICAS	31
— CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA DE RIEGO.	34
— NIVELES DE ESTUDIO	34

	Pág.
- ANALISIS ESTADISTICO EXPERIMENTAL	39
ENSAYOS ESPECIALES DE SIGNIFICANCIA ES	
TADISTICA	40
DIFERENCIA DE MEDIAS.	40
RELACION DE VARIANZAS	41
REGRESIONES Y CORRELACIONES	42
BONDAD DE AJUSTE.	43
TAMAÑO MINIMO DE MUESTRA.	43
REGRESION DE LAS FUNCIONES DE PRODUC	
CION	44
PRUEBAS DE HIPOTESIS	44
- TRABAJOS DE CAMPO Y MANEJO DEL EXPERIMENTO	49
PREPARACION DEL TERRENO	49
SIEMBRA	49
FERTILIZACION	50
LABORES CULTURALES	50
PLAGAS	51
RIEGOS	51
CARACTERISTICAS DE LA LINEA DE ASPER	
SION UTILIZADA	53
MUESTREOS DE HUMEDAD.	54
COSECHA	54
- VARIABLES DE RESPUESTA	55
- DATOS CLIMATOLOGICOS.	56
RESULTADOS Y DISCUSION	57
- SIMILITUD ENTRE METODOS	57

	Pág.
VARIABILIDAD MUESTRAL DE LOS RENDIMIEN <u>TOS</u>	57
VARIABILIDAD MUESTRAL DE LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO	62
— COMPARACION DE SUBLOTES EXPERIMENTALES	62
— REGRESIONES Y CORRELACIONES	65
— TAMAÑO MINIMO DE MUESTRA.	71
— BONDAD DE AJUSTE.	71
— FUNCIONES FORMALMENTE VINCULADAS A SU OCURENCIA EMPIRICA	72
— TENDENCIA DE LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO	73
— CONFIABILIDAD DE LAS ECUACIONES DE AJUSTE	74
— REGRESIONES ENTRE DATOS OBSERVADOS Y ESTIMADOS	75
ENSAYO DE HIPOTESIS PARA COEFICIENTES DE REGRESION Y CORRELACION.	77
— ANALISIS DE TENDENCIAS	81
AJUSTES QUE SUBESTIMARON LA PRODUCCION	81
AJUSTES QUE SOBRESTIMARON LA PRODUCCION	81
AJUSTES DE APROXIMACION ACEPTABLE	81
— VARIABLES DEL GRADIENTE DE ASPERSION.	84
GRADIENTES DE RIEGO SISTEMATICO	84
PATRON DE DISTRIBUCION DEL AGUA DE LA LINEA DE ASPERSION	89

UNIFORMIDAD DE LA DISTRIBUCION DEL AGUA APLICADA	93
GRADIENTES DE HUMEDAD INDUCIDOS. . .	98
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	110
RESUMEN	112
LITERATURA CITADA	115
APENDICE	118

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Texturas del suelo del sitio experimental y densidad aparente promedio por estrato . . .	32
2	Constantes de humedad promedio del suelo - del lote experimental	32
3	Análisis químico del suelo del lote experi <u>mental</u>	33
4	Análisis químico del agua de riego	35
5	Métodos de evaluación de los niveles de - riego	36
6	Lámina total aplicada y rendimiento en gra <u>no</u> para los niveles de estudio lado (A), incluyendo estadísticos muestrales.	60
7	Lámina total aplicada y rendimiento en gra <u>no</u> para los niveles de estudio lado (B), incluyendo estadísticos muestrales.	61
8	Estimaciones de la media y la varian <u>za</u> para los componentes de rendimiento de la po <u>blación</u> (A) muestreada con cuatro diferen <u>tes</u> métodos (en transecto)	63

Cuadro		Pág.
9	Estimaciones de la media y la varianza para los componentes del rendimiento de la población (B) muestreada con cuatro diferentes métodos (en transecto)	64
10	Evaluación de la diferencia de medias y relación de varianzas entre lotes A y B	65
11	Parámetros estadísticos de las variables de los componentes del rendimiento para los niveles en estudio	73
12	Parámetros de regresión lineal simple de datos estimados contra datos reales en bloques de producción y estadísticos (t student) para evaluar los coeficientes de regresión con relación a la recta; $Y = \alpha + \beta x$ con $\alpha = 0$, y $\beta = 1$ y el coeficiente de relación con $r = 0$	76
13	Láminas de riego aplicadas más lluvias en el experimento de frijol lado (A)	85
14	Láminas de riego aplicadas más lluvias en el experimento de frijol lado (B)	86
15	Coefficientes de uniformidad de riego para el patrón "perpendicular" de distribución del agua	94

Cuadro		Pág.
16	Coeficientes de uniformidad de riego para el patrón "diagonal" de distribución del agua	95
17	Coefficientes de uniformidad de riego para el patrón "en calma" de distribución del agua	96
18	Volumen, láminas y tasas de aplicación del agua para los diversos patrones de distribución del agua	97
A1	Datos climatológicos tomados durante el ciclo del frijol	119
A2	Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 11N 1A.	123
A3	Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 11N 1B.	123
A4	Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 6N 2A	123
A5	Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 6N 2B	124
A6	Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 4N 3A	124
A7	Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 4N 3B	124
A8	Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 3N 4A	125
A9	Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 3N 4B	125

Cuadro		Pág.
A10	Densidad de población promedio en los tratamientos para los niveles en estudio lados A y B	126
A11	Análisis de varianza del ajuste lineal y cuadrático para gradientes de lámina aplicada contra distancia, sublote experimental (A) .	126
A12	Análisis de varianza del ajuste lineal y cuadrático para los gradientes de lámina aplicada contra distancia, sublote experimental (B).	127

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Distribución de tratamientos en el lote experimental y línea de aspersión utilizada como generadora de gradientes de riego	37
2	Distribución de los niveles de riego en estudio en los tratamientos, lados A y B Y localización de los puntos de muestreo de humedad	38
3	Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 11N 1A	67
4	Respuesta del rendimiento en grano del frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 11N 1B	67
5	Respuesta del rendimiento en grano del frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 6N 2A	68
6	Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 6N 2B	68

Figura		Pág.
7	Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 4N 3A	69
8	Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 4N 3B	69
9	Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 3N 4A	70
10	Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 3N 4B	70
11	Ensayo estadístico de hipótesis t student, para el coeficiente de regresión $\beta = 1$	80
12	Ensayo estadístico de hipótesis t student, para el coeficiente de regresión $\alpha = 0$	80
13	Ajustes de la función de producción que la subestiman en sus respectivos niveles de riego probados.	83
14	Ajustes de la función de producción que la sobreestiman en sus respectivos niveles de riego probados.	83
15	Ajustes de la función de producción con <u>es</u> timación precisa a los datos medidos	83

Figura		Pág.
16	Ajustes lineal y cuadrático de los gradientes de lámina de agua aplicada por la línea de <u>as</u> persión durante el ciclo del frijol por ambos lados	88
17	Patrones geométricos de la distribución de agua de la línea de aspersión utilizada. . .	92
18	Gradientes de humedad inducidos a 7 días después del riego N° 1	100
19	Gradientes de humedad inducidos 5 días después del riego N° 2	101
20	Gradientes de humedad inducidos 9 días después del riego N° 3	102
21	Condiciones de humedad a 46 días del ciclo del frijol con 91 mm de precipitación pluvial	103
22	Gradientes de humedad inducidos 2 días después del riego N° 4	104
23	Gradientes de humedad 7 días después del riego N° 4	105
24	Condiciones de humedad a 26 días del riego N° 4 e inicio de cosecha en tratamientos secos	106

Figura	-	Pág.
A1	Localización del CENID-RASPA, INIFAP-SARH en la Región Lagunera, Coahuila y Durango. . .	128
A2	Patrones geométricos de distribución del agua de un solo aspersor bajo condiciones ideales según Christiansen en 1942.	129

INTRODUCCION

La mayor producción de alimentos básicos como maíz y frijol están fundamentalmente supeditados a condiciones de temporal redituable, características de la zona de temporal que comprenden el 75 por ciento de la superficie agrícola del país, asientan el 90 por ciento de la población rural y sólo participan con el 60 por ciento del valor de la producción. El 25 por ciento de 25 millones de hectáreas agrícolas del país está bajo riego y aportan el 40 por ciento del valor de la producción, de esta superficie total, aproximadamente el 83 por ciento se encuentra dominada por climas áridos y semiáridos. Donde existe la posibilidad de producir dichos alimentos pero con auxilio del riego.

En estas zonas áridas y semiáridas estos cultivos básicos compiten con cultivos industriales, los cuales tienen una mayor superficie cultivada limitando la de básicos; ante esta situación, en estas zonas con lluvia limitada y distribución errática es necesario, mediante la investigación, eficientar el uso y manejo del agua por los cultivos, adaptar variedades en los sistemas de producción para que incrementen su producción.

Diversas investigaciones se han desarrollado utilizando un sistema de riego por aspersión en funciones de producción, salinidad, y extendiendo su uso a la simulación de rendimientos y estudios de sequía.

Actualmente en el país se carece de información sobre la metodología para la conducción de experimentos en riegos, salinidad y sequía aprovechando el gradiente de humedad que sistemáticamente genera una línea de riego por aspersión, el cual permite una respuesta continua de cultivo al agua aplicada.

Además de lo anterior, es importante resaltar que una mayor superficie, costos de operación e insumos son requeridos en un lote tradicional de experimentación con riegos generalmente aplicados por superficie, en un diseño de parcelas al azar. Con el sistema de la línea de aspersión esto se puede reducir significativamente sin sacrificar la precisión.

Por lo mismo, la meta de este trabajo es formular un método científico con un juego universalmente aplicable de procedimientos y criterios que ayuden a juzgar las nuevas teorías e ideas en el campo de la experimentación con gradientes de humedad inducidos con líneas de aspersión.

Objetivos

Para lograr la finalidad antes mencionada, se diseñó este trabajo bajo los siguientes objetivos:

- Obtener una metodología para evaluar los gradientes de riego sistemático y gradientes de humedad inducidos, perpendiculares a la línea de riego - por aspersión, utilizada como fuente de riego.
- Adaptar el procedimiento estadístico adecuado para la evaluación riegos-réndimientos, bajo los gradientes de humedad inducidos.
- Definir los niveles de riego adecuados para la experimentación agrícola en base a los gradientes de riego proporcionados, que permitan estudiar la respuesta inducida por el gradiente con el mínimo número de niveles.

Hipótesis

El gradiente de humedad inducido sistemáticamente - por una línea de aspersión produce respuestas en el cultivo, estrechamente asociadas con los niveles de humedad.

REVISION DE LITERATURA

La Aspersión como Herramienta de Investigación
en Funciones de Producción.

Hanks et al. (1976), mencionan que el uso de una línea de aspersión para el riego de lotes experimentales ha sido utilizado comúnmente en Arizona, California, Colorado y Utah desde 1973, en estudios de crecimiento de planta y salinidad, todo relacionado con la producción de maíz; el mismo autor, mediante un programa de computadora y a partir de datos de un solo aspersor, tamaños y boquillas diversas obtuvo por simulación el máximo espaciamiento limitante para una uniformidad aceptable, que resultó ser una línea de aspersión con ocho aspersores espaciados a 6.1 m, además concluyó que el espaciamiento entre aspersores puede ser modificado en la línea diseñada.

Esta línea de aspersión se utilizó en un experimento con maíz; como variables del cultivo se relacionaron los rendimientos de materia seca y granos contra la evapotranspiración estimada, encontrando una relación lineal entre dichas variables en ambos lados de la línea regante. En relación a la operación de la línea regante se concluyó lo siguiente:

Se procuró regar siempre bajo condiciones de calma y recomienda hacerlo cuando la velocidad del viento sea menor de 3 km/h, perpendicular a la línea de riego y menor - de 3 km/h en paralelo; al incrementar la altura del aspersor por arriba de 2 m se obtuvo una variación en el promedio precipitado.

Este sistema de línea de aspersion se consideró como un método seguro y conveniente para aplicarse en parcelas experimentales en dos dimensiones y variaciones continuamente uniformes de niveles de irrigación, aplicaciones variables de fertilización, resultando económico y simple de instalar y operar comparándolo contra una parcela de riego por superficie, debido a que el tamaño del lote y el abastecimiento de agua son relativamente pequeños en la línea de aspersion con respecto al riego superficial.

Por su parte Hillel y Guron (1973), compararon datos de rendimiento de un lote experimental tradicional con cuatro variables de riego, indicando que con el sistema de línea de aspersion ellos pudieron estudiar 18 variedades irrigadas contra cuatro utilizadas en experimentos tradicionales.

Stewart et al. (1977), en un proyecto de investigación conjunto de cuatro estados norteamericanos, California, Utah, Arizona y Colorado, de las universidades respectivas; Davis, Logan, Yuma y Fort Collins, respectivamente, utilizaron la línea fuente de aspersion en cultivo de maíz seleccionado en común acuerdo para obtención de buenos resultados en funciones

de producción mediante el control de niveles de riego en salinidad, cuya información fue utilizada posteriormente para predecir la producción del cultivo de maíz de los cuatro estados, utilizando tres modelos de predicción de la producción de materia seca y rendimiento de grano; estos modelos son: el modelo de Hanks, desarrollado en Logan; el modelo de Stewart, desarrollado en Davis y el modelo de Hall-Butcher, publicado en 1968; algunos de los resultados específicos importantes de las investigaciones del control del nivel de agua y salinidad son los siguientes:

1. El diseño experimental de la línea fuente representa un importante avance en los estudios de las funciones de producción del agua y para la incorporación de otros efectos ambientales y manejo de variables incluyendo comparación de variedades, niveles de salinidad, niveles de fertilización. Esta simplicidad combinada con la generación de abundantes datos dentro de un amplio rango de posibles regímenes de agua aplicada, representa una gran ventaja. Este diseño está ajustado para usarse en situaciones amplias y es el camino para encontrar resultados en los países con agua limitada, aun en los sistemas de riego más sofisticados.
2. Una relación lineal entre rendimiento de materia seca y grano, contra evapotranspiración, fue encontrada para todos los sitios y para todos los

tratamientos en todos los casos; los efectos del riego en una fase particular del crecimiento pudieron ser explicados ampliamente por cambios en la evapotranspiración; por eso, la relación entre evapotranspiración y rendimiento de grano fue generalmente lineal, pero estos datos son más dispersos que los rendimientos de materia seca.

3. El mejor efecto de la salinidad fue encontrado cuando se redujo el agua proporcionada o tomada por el cultivo (reducción de la deflexión de la humedad del suelo) y su evapotranspiración. Esta reducción en evapotranspiración estuvo asociada con reducciones en el rendimiento de grano, materia seca o ambos del maíz, por el efecto del estrés en la zona radicular inducido algo por déficit de irrigación o por el nivel de salinización; de la misma forma, el rendimiento relacionado con la evapotranspiración pudo ser explicado como quiera que sea, los tratamientos que se tenían con salinidad afectaron la evapotranspiración diferente en las diversas localizaciones debido a factores que no fueron quizás entendidos o explicados.

4. La reducción de la evapotranspiración en suelos salinos se debió a tres causas importantes:

- I. El retraso en la germinación, así como el retraso al principio de la transpiración y reducción del potencial estacional de la transpiración.
 - II. El retraso en el desarrollo de la hoja también produce una reducción del potencial de transpiración durante el ciclo del cultivo.
 - III. Reducción de la deflexión neta del agua del suelo como también la evapotranspiración actual total para la estación.
5. El uso de agua de riego salina tuvo efectos similares en los tratamientos de suelo presalinizados en California, pero no en otros lugares. Esto probablemente porque la salinización solubilizada para el riego no fue detectada en los primeros años en el rendimiento del cultivo en muchos casos..
 6. Para todos los sitios, la mejor eficiencia de riego proporcionó rendimientos altos por tener una irrigación uniforme aplicada semanalmente. A través de la estación las plantas recibían poca agua en cada riego, creando aparentemente condiciones que hacían más eficiente el uso del agua escasamente dada; los rendimientos fueron altos para Davis, bajos para Yuma y similares para Fort Co-

llins y Logan; la máxima deflexión de agua fue observada en Davis (cerca de 400 mm), baja para Yuma (cerca de 150 mm) y similares para Fort Collins y Logan (cerca de 230 mm). Fort Collins tuvo altas precipitaciones en ambas estaciones de crecimiento (105 mm en 1974 y 188 mm en 1975), siguiente en orden por Logan y Davis. Yuma no tuvo precipitaciones intensas en el año durante el cultivo, la evapotranspiración potencial fue alta para Yuma (860 mm en 1974 y 670 mm en 1975), y bajas para Fort Collins (530 mm en 1974 y 540 mm en 1975).

Las temperaturas fueron altas en Yuma junto con la baja retención de agua del suelo; produjeron un pobre crecimiento de maíz ocasionando esto una producción pequeña de granos.

Por su parte Stewart et al. (1977), también del proyecto del conjunto de cuatro estados norteamericanos, probaron el gradiente sistemático de humedad en maíz presentando a continuación un análisis de las relaciones lineal o cuadráticas encontradas entre las variables de respuesta materia seca y rendimiento de grano, contra la evapotranspiración total y agua total aplicada.

En 1974 los cuatro sitios experimentales relacionaron las variables de estudio; rendimiento de grano y materia seca con evapotranspiración actual (ETa) y agua total aplicada, ba

jo seis niveles de riego, encontrándose en las relaciones, rendimientos (grano, materia seca) contra ETa una buena relación lineal con una $r^2 = 0.98$, y 0.97 ; dichos ajustes de regresión cubren rangos de 7 a 12 ton/ha de grano con un ETa de 450 a 650 mm, y de 13 a 22 ton/ha de materia seca con 450 a 700 mm de ETa.

Las relaciones entre grano-materia seca y agua total aplicada se estimaron sobre los diagramas de dispersión de datos solamente, trazando la curva más aproximada entre datos de los tratamientos testigo (riego en todas las etapas), obteniendo al parecer un ajuste cuadrático entre rendimiento de grano y agua aplicada; y lineal o cuadrático o impreciso entre materia seca total y agua aplicada. No se muestran los parámetros de ajuste de regresión para estos casos.

En 1975 estos mismos experimentos fueron repetidos pero bajo condiciones salinas del agua de riego y suelo, encontrándose las mismas relaciones mencionadas, sólo que se observó una reducción en los rendimientos de grano en materia seca del maíz; de la relación grano-agua total aplicada, la curva relaciona rangos de 6.8 a 8.8 ton/ha de grano y 50 a 550 mm de agua aplicada, donde el máximo rendimiento se obtiene en 11.5 ton/ha y 450 mm de agua y 22 ton/ha de materia seca con 410 mm de agua, con rangos de 13 a 22 ton/ha de materia seca y 50 a 550 mm de agua aplicada.

Resultados similares fueron obtenidos para Davis California y Fort Collins; además, con el propósito de relacionar porcentajes de decremento en los seis niveles de riego probados al estrés de agua y al estrés de salinidad, se concluyó lo siguiente:

El rendimiento de los tratamientos húmedos se redujo en un 23 por ciento en comparación con los más secos; para los mismos niveles la salinidad ocasionó una reducción del 20 por ciento en los niveles más húmedos y de 21 por ciento en los más secos; o sea que, el tratamiento del nivel 1 de los más secos tuvo una caída del 48 por ciento en los rendimientos comparándolos con los más húmedos (sin estrés de humedad y sales).

Para Logan se conservó la afinidad lineal de las variables respuesta contra ETa a condiciones normales y salinas, sólo en caso de materia seca contra ETa a condiciones no salinas se obtuvo una $r^2 = 0.51$, para el caso de las relaciones con agua total aplicada para ambos casos (grano y materia seca) se presentaron los diagramas de dispersión de los datos de los tratamientos probados y al unirlos para obtener sus curvas características, estos denotan una gran desorganización de los mismos como falta de afinidad y correlación; resultados similares a Logan fueron obtenidos para Yuma.

Hanks y Rasmussen (1978), en un experimento sobre "modelo de rendimiento de trigo de primavera para condicio-

nes de humedad" utilizando una línea de aspersion como -
fuente de abastecimiento y aleatorizando en forma perpendicular a la línea cinco variedades de trigo de primavera,
con dos repeticiones; se obtuvieron modelos de simulación
y se comprobaron, prediciendo rendimientos medidos en 1972
resultando aproximadamente un 20 por ciento menor.

Sorensen et al. (1980), en un experimento sobre el
efecto de diversos tratamientos de riego en la producción
de semillas de maíz utilizando una línea de aspersion y -
Stewart et al. (1977), utilizando el mismo sistema de línea
de aspersion en un experimento de "optimización de producción
de maíz bajo niveles de humedad y salinidad en el suelo",
concluyeron que otros factores pueden ser estudiados
por el establecimiento de tratamientos variables aleatorios
en franjas perpendiculares al tratamiento de riego, los cuales
son paralelos a la línea de aspersion; dichos tratamientos
no pueden ser aleatorizados porque el riego es aplicado
sistemáticamente.

Hanks et al. (1980), mediante un experimento con tres
variedades de trigo aleatorizadas perpendicularmente a la línea
y estableciendo como estudio de riego seis niveles, de-
terminaron mediante pruebas estadísticas de análisis de va-
rianza de los rendimientos que la interacción riego-rendi-
miento no puede ser posible asignar un nivel de probabili-
dad al riego, porque el riego es aplicado en forma sistemática
y no puede ser aleatorizado, mas sin embargo, la validad

dez estadística para aleatorizar tratamientos perpendiculares a la línea (variedades u otras variables) que interactúen con el riego sistemático sí pueden ser probados.

Gardner et al. (1981), condujeron un estudio en 1978 con dos híbridos de sorgo en ocho parcelas experimentales utilizando en cada una para los riegos la línea de riego por aspersión (en cada lote) similar a la diseñada por Hanks et al. en 1976; el propósito de dicho estudio fue el de definir las relaciones entre: temperatura del cultivo, medida con termómetro de rayos infrarrojos y el rendimiento de grano, así como desarrollo fenológico, tasa de evapotranspiración y potencial de agua en la hoja, sujetos a variaciones del gradiente de agua útil en el suelo, proporcionado por la regante en dirección perpendicular y, por consecuencia, esto generó un estrés de agua en la planta.

El cultivo fue sembrado en hileras paralelas a la regante; en una parcela experimental se alternaron dos híbridos, dicha parcela fue dividida en tres zonas denominadas norte, sur e intermedia, siendo esta última cruzada por la regante y considerada como protección. En la norte y sur fueron muestreados los híbridos para la obtención de las variables respuesta, las plantas fueron sometidas a estrés de agua durante tres etapas de crecimiento del cultivo, además el estrés perpendicular debido al gradiente de agua, indujo un gradiente de temperatura de

24 a 32 °C para las hileras muestreadas perpendicularmente a la regante y por ambos lados de la misma; la correlación entre los datos de temperatura en ambos lados a una misma distancia de la regante fue aceptable al ajustarlos a una recta con coordenadas en el origen, comparando ambos lados. En conclusión se indicó que la temperatura de la planta es un indicador del estrés de agua del cultivo y que puede ser manipulada con facilidad por medio de sensores remotos (satélite).

Hanks et al. (sin fecha) utilizaron una línea de aspersión como fuente de gradientes de riego en un proyecto conjunto de cuatro estados de los Estados Unidos, con el propósito de encontrar modelos de predicción de la producción de los cultivos de dichos lugares; el proyecto fue coordinado por la Universidad del estado de Utah, participando las de Davis, California; la de Colorado y la de Arizona. En las cuatro regiones experimentales el cultivo base para la generación de datos para los modelos de predicción bajo condiciones de sequía fue la remolacha azucarera, dichos modelos utilizados para la simulación fueron el de Stewart et al., de 1977, y un programa de computadora denominado Plantgro hecho por Hanks en 1974. Los cultivos simulados en las cuatro localidades en base a la información generada por la remolacha azucarera fueron: trigo de invierno, de primavera, cebada, frijol, algodón y soya.

Los niveles de agua o de estrés de agua en la planta probados en todos los casos fueron seis por ambos lados de la regante, la remolacha se sembró en hileras paralelas a la misma, a 0.61 m de espaciamento y una densidad de 4.3 plantas por metro en las hileras; las variables de respuesta en estudio de los cuatro sitios experimentales fueron: rendimientos de materia seca, de peso de raíces frescas y azúcar (en ton/ha), relacionándolos con la evapotranspiración, encontrándose tendencias de relación lineal con r^2 de 0.63, 0.72 y 0.72 en Utah, 0.56, 0.89 y 0.76 en Colorado, 0.62 a 0.83 para raíces y 0.59 a 0.75 para azúcar en Yuma, Arizona, por último, de 0.54 a 0.88 en materia seca, 0.76 a 0.81 de raíces y 0.54 a 0.88 para azúcar en Davis, California.

Sammis et al. (1986), condujeron un experimento de trigo de invierno en 1980-81 y 1981-82 y de cebada en 1981, utilizando la regante de aspersión como fuente de riego generadora de diferentes grados de humedad como tratamientos de estrés de humedad del suelo, se dió un riego de establecimiento al cultivo hasta una capacidad de campo en un perfil de 1.0 m de profundidad, los riegos siguientes fueron proporcionados por la línea regante diseñada por Hanks et al. en 1976, al 50 por ciento de humedad abatida en el suelo y monitoreada día a día con dispersor de neutrones; el sistema de aspersión fue operado con velocidades de viento menor o iguales a 1.4 m/seg; cinco riegos fueron aplicados al trigo sembrado en un suelo limoso y quince a la cebada en un arenoso, los niveles

- de riego establecidos fueron ocho de un lado y siete del otro lado de la regante, las muestras de cultivo para obtener el índice de área foliar y rendimiento de grano fueron tomadas en cinco niveles de riego en 1981 para trigo en ambos lados de la regante en una parcela útil de 0.5 m^2 , ubicada en sitios sin problemas de excesos de agua y filtraciones al perder presión las tuberías. En 1982 en trigo se tomaron datos en parcelas de 0.25 m^2 en cuatro niveles de riego al azar, el mismo procedimiento en 1981 fue llevado a cabo en el cultivo de cebada. El objetivo primordial de estos experimentos fue simular valores de la evaporación del suelo y transpiración en base al índice de área foliar y evapotranspiración resultantes del efecto del estrés de humedad del suelo originado con los gradientes de agua aplicada por la regante; el índice de área foliar está siendo utilizado ampliamente en modelos de simulación por computadoras, y es considerado como una variable de estado para modelaje de evapotranspiración y rendimiento de grano de diferentes cultivos. Estos modelos junto con el modelo de calendarización, contienen submodelos de balances de agua que separan la evapotranspiración en evapotranspiración y transpiración basados en cálculos de índice de área foliar.

Specht et al. (1986), estudiaron la respuesta diferencial de 16 genotipos de soya bajo seis niveles de riego utilizando dos líneas de aspersión para generar cantidades variables de aplicación de agua, de tal manera que la par-

cela experimental fue repetida cuatro veces, dos de cada lado de la línea de aspersión; las variedades de soya fueron asignadas de manera aleatoria a subparcelas, las cuales consistieron de cuatro hileras (3.05 m de largo), plantadas en dirección perpendicular a la tubería; la pendiente del terreno fue menor de 1 por ciento, la tasa de infiltración 1 cm/h; la máxima tasa de precipitación proporcionada por el equipo fue de 1.2 cm/hr, se procuró operar el sistema de riego cuando las condiciones de viento fueron menores a 1 m/seg (3.6 km/hr).

Las variables respuesta medidas fueron: altura de planta, densidad de plantación, semillas por planta, peso de cien semillas, rendimiento de semilla, rendimiento de paja e índice de cosecha aparente (HI), las cuales fueron relacionadas con las cantidades de agua obteniéndose ecuaciones de regresión lineal para cada tratamiento medido con buenos coeficientes de determinación (r^2), obteniéndose un rango de 0.92 a 0.99 en 1983, y de 0.76 a 0.99 en 1984; algunos tratamientos apareados exhibieron una respuesta curvilínea, pero la regresión cuadrática fue atenuada. Los efectos cuadráticos significantes fueron detectados para: densidad de plantación, granos por planta, rendimiento de paja e índice de cosecha de cada año; para la calidad de semilla en 1983 y para el rendimiento de semilla y de paja en 1984. Estos valores de r^2 fueron mejorados en un 5 por ciento o menos para la regresión cuadrática, excepto en 1984 para rendimiento de semilla (r^2 mejoró un 12 por ciento), y para índices de cosechas (r^2 mejoró un 23

por ciento). Dichos autores eligieron el uso de los coeficientes de regresión lineal para la interpretación matemática de los resultados obtenidos relacionados con las cantidades de agua aplicada.

Uniformidad de las Precipitaciones

Con relación a la uniformidad de la distribución del riego, García y Briones (1986), mencionan que la eficiencia del riego por aspersión está en función de la distribución del agua, y ésta a su vez en función de factores de diseño, operación y climatológicos; la uniformidad de distribución es una medida de qué tan homogéneas son las láminas de agua sobre el campo bajo un patrón de traslapes entre aspersores y líneas de riego; este parámetro de medición de la distribución de la uniformidad de la aplicación del agua ha sido comúnmente denominado coeficiente de uniformidad (U.C.), el cual es frecuentemente la base para las evaluaciones del funcionamiento de estos sistemas de riego.

Varios coeficientes empíricos que miden dicha distribución se han sugerido en la literatura a través de los años; sin embargo, en este caso, han sido adoptados dos muy comúnmente utilizados por su similitud de valores obtenidos, los cuales son mencionados por García y Briones (1986) y se describen a continuación:

Coeficiente de uniformidad de Christiansen (UCC), propuesto en 1942, el cual se expresa como:

$$UCC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{Y}|}{N\bar{Y}} \right] * 100 \%$$

Donde:

N = número de observaciones

\bar{Y} = promedio de las observaciones

$\sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{Y}|$ = suma del valor absoluto de las desviaciones de las observaciones individuales (Y_i) del promedio de las observaciones (\bar{Y}).

Coeficiente de uniformidad de Hart (UCH), propuesto en 1961 y concluido en 1965 junto con Reynold's, el cual se expresa como:

$$UCH = \left[1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{S}{\bar{Y}} \right] * 100\%$$

$$= \left[1 - 0.798 \frac{S}{\bar{Y}} \right] * 100\%$$

Donde:

S = desviación típica de las observaciones

\bar{Y} = promedio de las observaciones

El Servicio de Conservación de Suelos de los EUA (1979), menciona que los fabricantes de aspersores giratorios especifican un diámetro de riego para todas las combinaciones de tamaño de boquilla y presión de operación con cada tipo que distribuyen, debido a que comúnmente las re

comendaciones para espaciamiento entre aspersores se basan en esos diámetros, estos deberán ser considerados cuidadosamente bajo condiciones de funcionamiento favorable (perfecta quietud de viento y presión y gastos adecuados). La distribución del agua en torno al aspersor puede disponerse en forma triangular, rectangular o cuadrada de acuerdo al aspersor seleccionado, las tres disposiciones son satisfactorias si se procura la adecuada sobreposición de los patrones simples. Los arreglos más comunes son en triángulo y cuadrado. La lámina de agua aplicada al área que circunda al aspersor va disminuyendo conforme aumenta la distancia, por lo tanto, para obtener un grado razonablemente alto de uniformidad en la aplicación, deberá agregarse agua a dicha área procedente de los aspersores adyacentes, el viento distorsiona la disposición geométrica del aspersor y, conforme aumenta su velocidad, se incrementa dicha distorsión, por lo tanto, los distintos espaciamientos dan por resultado diferentes grados de uniformidad.

Christiansen (1942), reporta ensayos hechos en varios tipos de aspersores operados a presión y gasto adecuados, con una velocidad de rotación uniforme y en perfecta quietud de aire, obteniendo los patrones geométricos de distribución del agua, los cuales se representan simétricamente respecto al centro en la Figura A2 del Apéndice; dichas formas geométricas representan un típico patrón real de un aspersor, los cuales fueron sometidos a un extenso análisis donde se determinó la uniformidad de distribución para varios espaciamientos.

- Patrones de Aspersión Adecuados para la Investigación de niveles de Humedad

Hanks et al. (1976), indican que los criterios que se tomaron en cuenta para el diseño de la línea de aspersión, - utilizada como fuente de gradientes de riego en lotes experimentales fueron:

- La obtención de un patrón triangular de la aplicación del agua en la línea de aspersión conformado por ambos lados, con la máxima cantidad de agua en la línea y la mínima o cero hacia el final del radio mojado de los aspersores.
- Una aceptable uniformidad del riego en la parcela - experimental para el primer criterio fue escogido - un aspersor con un patrón triangular de distribución del agua; para el segundo, que la cantidad de agua - aplicada fuera similar en una hilera del cultivo en todo lo largo paralela a la regante, o que la variación de las láminas de riego aplicadas no excedan de aproximadamente más o menos 10 por ciento de la media.

La línea de aspersión obtenida consistió de ocho aspersores espaciados a 6.1 m, solamente entre los aspersores, boquillas 3/16" X 3/32" (4.8X2.4 mm), operados a una presión de aproximadamente 3 bars, con un radio de mojado de 15 m.

Durante la utilización de este sistema de riego en un experimento con maíz en 1974, una aceptable uniformidad fue

obtenida bajo condiciones de viento menor a 3 km/hr perpendicular y 8 km/hr en dirección paralela a la línea regante; estas variaciones normales del viento tendieron a hacer el patrón de distribución del agua de forma curvilínea, de tal manera que la estimación del riego mediante un ajuste de regresión, es una función polinomial de segundo grado, la cual guarda más correspondencia con los datos medidos.

Specht et al. (1986), determinaron que el patrón de distribución del agua en la línea regante en 1983 y 1984 en experimento con soya, fue ligeramente sigmoïdal en cada lado de la tubería; a pesar de esto, el coeficiente de regresión lineal que se obtuvo varió de un 98 a un 99 por ciento al ajustar la aplicación del agua vs. distancia; además, las ecuaciones de regresión indicaron que la distribución del agua fue idéntica en ambos lados de la regante; por último, este gradiente de aplicación del agua fue similar a los que fueron usados previamente en otros cultivos por otras investigaciones. Todos estos resultados y experiencias vuelven aceptable el patrón de distribución lineal adoptado.

La línea de aspersion utilizada estuvo formada por: 15 aspersores espaciados a 9.1 m, entre ambos, boquillas 4.8X2.4 mm, presión de operación 345 K Pa (3.45 bars), los riegos fueron proporcionados sólo bajo condiciones de velocidad de viento menor que 1 m/seg (3.6 km/hr); el gradiente de la tasa de aplicación del agua fue de 1.2 cm/hr máximo, cerca de la tubería y casi de 0 a 16.5 m perpendicular a la misma, lo cual equivale a un gradiente (pendiente) sobre el

patrón triangular del orden de 0.073 cm/hr*m.

Adaptación y Rendimiento del Frijol

Pinto Laguna 80

Vargas (1987a), evaluó en 1981 el comportamiento y estabilidad de 18 variedades de frijol en la Comarca Lagunera, encontrando que el Frijol Pinto Americano Laguna 80 proporcionaba un rendimiento promedio de 1.8 ton/ha a 92 días de madurez y un número de vainas de 12.5/planta, sin fertilización.

Vargas (1987b), encontró en 1982 que el frijol variedad Pinto Laguna 80 proporcionaba un rendimiento medio promedio de 1.4 ton/ha inferior al promedio general de 1.5 ton/ha, de 19 variedades evaluadas para la Región Lagunera. Sin embargo, ha sobresalido en pruebas comerciales como se mencionará más adelante.

Vargas y Tovar (1987), en parcelas de validación de productores sembraron en 1982 la variedad Pinto Laguna 80, encontrando rendimientos de 2.1, 0.6, 0.6 y 2.0 ton/ha, respectivamente en cuatro localidades de la Región Lagunera, explicando los rendimientos por las condiciones generales del sitio; siendo para el primero buen tipo de suelo, intervalos de riego aceptables, sin fertilizantes e insecticidas y una población de 81 mil plantas/ha, considerada baja; para el segundo, manejo de cultivo e intervalos de riego deficientes, suelo migajón arenoso, no se aplicó fertilizante ni insecti-

cidas, densidad de población de 120 000/ha, considerada satisfactoria; el tercero no se cultivó durante el desarrollo ni se aplicó fertilizante e insecticida, textura del suelo migajón arcilloso y faltó nivelación, además se tuvo baja densidad de plantas (96 000/ha); por último, el cuarto sitio se trabajó en un suelo de textura franco migajón limoso, se fertilizó y se aplicó insecticidas, cultivadas e intervalos de riego aceptables, densidad de población 103 000 plantas/ha, considerablemente abajo del óptimo.

Gaytán (1988), para estudiar la adaptación del Pinto Laguna 80 a los riegos del algodonnero estableció cuatro parcelas de validación con productores en distintos municipios de la Región Lagunera, Tlahualilo, Gómez Palacio y Ceballos del estado de Durango y San Pedro de las Colonias del estado de Coahuila; dicha variedad tuvo mayores rendimientos que los testigos en todas las localidades, siendo de 1.4, 0.8, 0.12 y 0.9 ton/ha, respectivamente; en Tlahualilo el testigo (otra variedad) manifestó mayor precocidad a 64 y 70 días de madurez fisiológica.

Palacios y Martínez (1978), indicaron que dentro de las leguminosas, que es donde se encuentra el frijol, la mayor parte de los estudios realizados con esta clase de plantas reportan que son muy susceptibles al déficit hídrico durante el período de floración, así como también muy sensibles al exceso de humedad en el suelo, observándose una notable disminución en su rendimiento, tanto en grano como en vaina.

Funciones de Producción

Palacios y Martínez (1978), señalan que la función de producción simula el efecto de las variaciones de humedad del suelo sobre el rendimiento de los cultivos, y mediante el uso de dichas funciones ha sido posible encontrar soluciones útiles en la optimización del uso del agua en la agricultura de riego y en la predicción de rendimientos en la agricultura de temporal.

Por último, estos autores reportan que el rendimiento de grano de los cultivos no forrajeros se ajusta a funciones matemáticas de tipo polinomial cuyas variables independientes son la fracción residual de la humedad aprovechable y la etapa de su desarrollo vegetativo.

Ramírez (1988), en un trabajo de investigación con trigo, cuya finalidad fue estudiar el efecto de diferentes niveles de evapotranspiración en tres etapas fenológicas del cultivo, y cuyos niveles de evapotranspiración se lograron mediante cuatro niveles de consumo de la humedad del perfil 20, 40, 60 y 80 por ciento de la lámina aprovechable, concluyó que la lámina total aplicada está íntimamente relacionada o directamente asociada con la evapotranspiración total, ésta a su vez tiene una relación de tipo lineal con la materia seca total (en ton/ha), y de tipo cuadrático con el rendimiento de grano (ton/ha).

Consideraciones Estadísticas

Infante y Zárate (1984), mencionan que para que un modelo de predicción de una regresión tenga credibilidad y consistencia en las inferencias realizadas, es importante tener en cuenta las siguientes suposiciones básicas:

- (Y) es una variable aleatoria cuya distribución probabilística depende del valor de (X) -variable independiente-.
- Independencia.
- Normalidad.

La primer suposición implícita que (X) es una variable no aleatoria (láminas de riego), que puede ser controlada por el experimentador; en la segunda, que los valores de la variable dependiente (Y) -rendimiento- son independientes e influenciadas por la variable (X), de cuyos valores (Y) es predicha; para la validación de esta segunda suposición se deben cumplir las pruebas de hipótesis t student, el análisis de varianza y los intervalos de confianza a niveles aceptables (0.05-0.01).

En la tercera suposición se asume que afortunadamente las técnicas estadísticas de regresión son bastante "seguras", a esta suposición, o sea que el uso de la distribución t student en las pruebas de hipótesis, o en los intervalos de confianza, o de la distribución F en el análisis de varianza, son justificables si los errores tienen una distribución aproximadamente normal.

Chew (1976), indicó que las variables experimentales pueden ser divididas en factores cualitativos (variedades, tipos de suelo, de fungicidas, conteo de bacterias) y en cuantitativos (niveles de riego, fertilización, presión, temperatura, humedad, pH); en los experimentos en los que fueron hechas todas las combinaciones posibles de dos o más factores, cualitativos y cuantitativos, son denominados experimentos factoriales por la naturaleza de los tratamientos, y no por el diseño experimental, el cual puede ser completamente al azar, bloques al azar, cuadro latino o parcelas divididas.

En los experimentos con factores cuantitativos, el análisis de regresión o curva de comportamiento es la técnica más apropiada donde los tratamientos, grados de libertad o suma de cuadrados pueden ser particionados en componentes exactos o lineales (primer grado), cuadrático (segundo grado) o cúbico (tercer grado); si la regresión es significativa, no es necesario el procedimiento de comparación múltiple, debido a que todos los tratamientos son significativamente diferentes en todos los casos.

El mismo autor menciona que muchos experimentos agrícolas tienen la afinidad matemática entre la respuesta (Y) y el factor cuantitativo experimental (X) es compleja, que se tiene que recurrir a funciones polinomiales principalmente de la forma: $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 \dots + b_dX^d$, y que dentro de un rango limitado de la variable independiente, las aproximaciones polinomiales usualmente son satisfactorias si el nivel de la respuesta no es distorsionada en el rango experi-

mental (X).

En el caso de que la curva asintótica muestre un corte o distorsión, mediante una comparación de efectos del ajuste lineal en el rango de recorrido si se tienen diferencias - muy pequeñas (la significancia usual de las pruebas, no es concerniente con la magnitud de las diferencias) y por otro lado, si en el ajuste cuadrático, los términos cuadráticos del aná- lisis de varianza son significativos estadísticamente, pero si en la suma de cuadrados (SS), la "SS" del error es una pequeña parte de la (SS) de los tratamientos, se puede adoptar el ajuste lineal, con la cual se pueden hacer buenas predicciones de la respuesta (aunque la respuesta efectiva es función de la - cuadrática); por otro lado, si la proporción de la curvatura es leve y ésta proviene de la estimación de pocos parámetros, la línea recta es una función más fácil de usar que una curva parabólica, recalcando que existe una distinción entre las - significancias estadística y la práctica. Estas consideracio- nes estadísticas fueron adoptadas por Specht et al. en 1986.

Reyes (1985), indica que cuando se tienen varios niveles en tal forma que se consideren como una variable continua y que los mismos estén igualmente espaciados, se presentan problemas de regresión lineal o curvilínea según el número de - niveles; si el número de niveles en estudio varía, se pueden obtener diversos grados de las polinomiales como: lineal, - cuadrática, cúbica..., cuando el número de niveles es mayor de tres, también el grado de la polinomial lo será; cita un - ejemplo de interés en el cual el análisis de varianza en con-

junto determinó diferencias no significativas entre tratamientos; sin embargo, al estudiar la regresión la diferencia fue altamente significativa.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Sitio Experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el Verano de 1987 en el Campo Experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), del INIFAP-SARH, ubicado en el km - 6.500 del margen derecho del Canal Sacramento del Municipio de Gómez Palacio, Dgo. (Fig. A1).

La situación geográfica del lugar es 25°30' de latitud norte y 103°32' de longitud oeste; la altitud media sobre el nivel del mar es de 1 130 m.

Características Climáticas

El clima, según la clasificación de Thornthwaite, es: (Edb'a) provincia de humedad (E) árida vegetación desértica, humedad deficiente en todas las estaciones. Provincia de temperatura (b") mesotérmica. Su provincia de temperatura (a) - concentración en el Verano entre 25 y 34 por ciento. La precipitación media anual en la región oscila de los 200 a 300 mm, la cual se concentra en gran parte en los meses de agosto y septiembre.

La temperatura media anual de 20 a 22 °C, existiendo temperaturas arriba de los 25°C durante los meses de mayo, ju

nio, julio y agosto, que aunado con las máximas velocidades de viento que se presentan durante marzo y abril (arriba de los 10 km/hr provocan fuertes evaporaciones precisamente de abril y mayo; para los meses de junio a octubre, la velocidad media anual de los vientos oscila entre 7, 9, 10, 9 y 6 km/hr, respectivamente.

En cuanto a la evaporación anual, se estima que ocurren 2 350 mm de los cuales el 9 por ciento es sustituido en forma de lluvia; en la región, debido al efecto de las altas temperaturas, fuertes velocidades de viento y baja presencia de lluvias, se presentan los más bajos valores (entre 35 y 40 por ciento) de humedad relativa (HR) en los meses de marzo, abril y mayo, y el más alto valor precisamente durante el mes más lluvioso (aproximadamente 48 por ciento).

Características del Suelo del Sitio Experimental

Físicas y Químicas.

Los análisis tanto físicos como químicos del suelo y agua de riego se realizaron en los laboratorios del CENID-RASPA, tales datos se reportan en los Cuadros del 1 al 4.

En el Cuadro 1 se muestran los datos referentes a la textura del suelo, en el cual se puede apreciar que toda la profundidad analizada es homogénea en cuanto a la textura; en los Cuadros 2 y 3 son presentadas las constantes de humedad promedio así como los cationes y aniones solubles para dicho perfil. Por último, en el Cuadro 4 se proporciona la información referente al análisis químico del agua de riego utilizada.

CUADRO 1. Textura del suelo del lote experimental y densidad aparente promedio por estrato.

PROF. (cm)	TEXTURA			CLASIFICACION TEXTURAL	DENSIDAD APARENTE PROMEDIO (gr/cm ³)
	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		
0-30	32.56	34	33.44	Migajón arcilloso	1.30
30-60	28.56	40	31.44	Migajón arcilloso	1.33
60-90	28.56	44	27.44	Migajón arcilloso	1.37

La textura fue analizada con el método de Bouyoucos y la densidad aparente se midió aplicando barrena de muestreo - usando balanza, estufa y botes para humedad, respectivamente. De acuerdo a tales características, el suelo se considera migajón arcilloso.

CUADRO 2. Constantes de humedad promedio del suelo del lote experimental.

PROF. (cm)	CONTENIDO DE HUMEDAD		LAMINA APROVECHABLE (mm)
	CC (%)	PMP (%)	
0-30	30.10	16.35	53.36
30-60	29.40	15.97	53.59
60-90	27.37	14.87	51.38

La capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) fueron determinados en laboratorio mediante el método de ollas y membranas de presión, las láminas aprovechables retenidas por el perfil de 0-90 cm es del orden de 15.83 cm.

CUADRO 3. Análisis químico del suelo del lote experimental.

ESTRATO SUELO	CE*10 ³ A 25°C (mmhos/cm)	pH	CATIONES SOLUBLES (meq/l)				ANIONES SOLUBLES (meq/l)			
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	K ⁺⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
0-30	1.9	8.5	10.8	1.5	6.1	1.2	0	2.8	3.42	7.60
30-60	2.4	8.2	18.0	2.3	6.7	1.0	0	2.6	3.07	21.92
60-90	3.0	8.1	23.1	2.7	7.5	1.2	0	2.0	5.13	21.64

Según De la Peña (S/F), del análisis químico del suelo para los estratos, el suelo es normal, cuya conductividad eléctrica es menor de 4 mmhos/cm, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es menor de 15 por ciento, el pH debe estar en el rango de 6.5 a 7.5 y, en este caso, es mayor; sobre el pH, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (1985), indica que cuando el pH es moderadamente alcalino, como aquí lo es, si no es debido a PSI alto (2.3, 1.8 y 1.5 por ciento, respectivamente), entonces es por el contenido considerable de metales alcalino térreos en el suelo.

Asimismo, De la Peña (S/F) especifica que el suelo normal es el que no presenta problemas a las plantas por concentraciones salinas, buena permeabilidad, aireación, buena estructura, o sea, son suelos sin problemas para la agricultura.

Características Químicas del Agua de Riego

El agua de riego provenía de las presas de la Región Lagunera, se tomaba del Canal de Sacramento del Distrito de Riego mediante bombeo, y ésta se almacenaba en una pila del campo experimental; posteriormente se derivaba a un cárcamo subterráneo junto al lote en estudio de donde era extraída por el sistema de aspersión utilizado en el presente trabajo.

Los resultados del análisis químico del agua de riego son mostrados en el Cuadro 4, donde se puede observar que ésta carece de carbonatos.

CUADRO 4. Análisis químico del agua de riego.

CE * 10 ⁶ a 25 °C (micromhos/cm)	PH	CATIONES (meq/l)				SUMA	ANIONES (meq/l)				SUMA
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	K ⁺⁺		CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	Cl ⁼	SO ₄ ⁼	
55.0	8.0	1.79	0.65	2.34	0.15	4.93	0.0	2.4	0.61	1.80	4.81

En relación al cuadro anterior, según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (1985), el agua de riego se clasifica de la siguiente forma:

C₁S₁, donde C₁ indica que el agua de riego es de baja salinidad, puede usarse para riego de todo cultivo en casi cualquier terreno, excepto en los de baja permeabilidad, prác

ticamente sin peligro de desarrollo de salinidad y S_1 significa que es agua de bajo peligro de sodio; existe poca posibilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos.

Niveles de Estudio

Los niveles de riego evaluados bajo el gradiente sistemático de humedad fueron arreglados de la forma mostrada en el Cuadro 5, en el que se puede observar que el método 1, donde el muestreo fue más continuo al cosechar en la hilera de cultivo más alejada de la tubería (Número 12), se obtuvieron plantas sin grano; debido a esto, sólo fue posible evaluar 11 hileras de cultivo por ambos lados de la regante. En base a dicho método, los demás fueron un submúltiplo de 12.

El área de influencia o área experimental para una hilera o método 1, fue de 0.70×6.2 m (4.34 m²), procediéndose a coleccionar la muestra en forma unitaria, siendo la parcela útil de 1.0×0.70 m (0.70 m²). Para el tratamiento 2, 1.0×1.40 m (1.40 m²), que sería el doble del tratamiento 1; para el tratamiento 3, el área útil sería el triple del área del tratamiento 1; y por último, para el tratamiento 4, el área útil de la colección de las muestras fue de 1.0×2.8 m (2.8 m²), que sería 4 veces mayor del área del método 1 (Cuadro 5).

CUADRO 5. Métodos de evaluación de los niveles de riego.

METODO O TRATAMIENTO	FORMA DE EVALUACION	NIVELES DE RIEGO
1	Una hilera	11
2	Dos hileras	6
3	tres hileras	4
4	cuatro hileras	3

El lote experimental junto con la línea de aspersión utilizada es esquematizada en la Figura 1, donde se muestran los tratamientos por ambos lados, ordenados alternadamente. Posteriormente en la Figura 2 se muestra la distribución de los niveles de riego en estudio lados (A) y (B), y la localización de los puntos de muestreo, en la Figura 2 las letras (N) corresponde a nivel, (A, B) indican ambos lados de la línea y los símbolos — la dirección de flujo del agua en la tubería, θ aspersor, * pozos de muestreo en riegos 1 y 2, *+ pozos de muestreo en riegos 3 y 4.

El mismo comportamiento de la función de producción fue evaluado por cuatro métodos de muestreo. Antes de continuar es conveniente hacer ciertas aclaraciones sobre la nomenclatura usada para denotar los tratamientos, la cual fue como sigue: ejemplo, tratamiento 6N 2A, significa que el tratamiento 2 del subblote experimental (A) fue dividido en seis niveles de riego en estudio. El tratamiento es el trato dado a la población durante la evaluación, o método de muestreo por

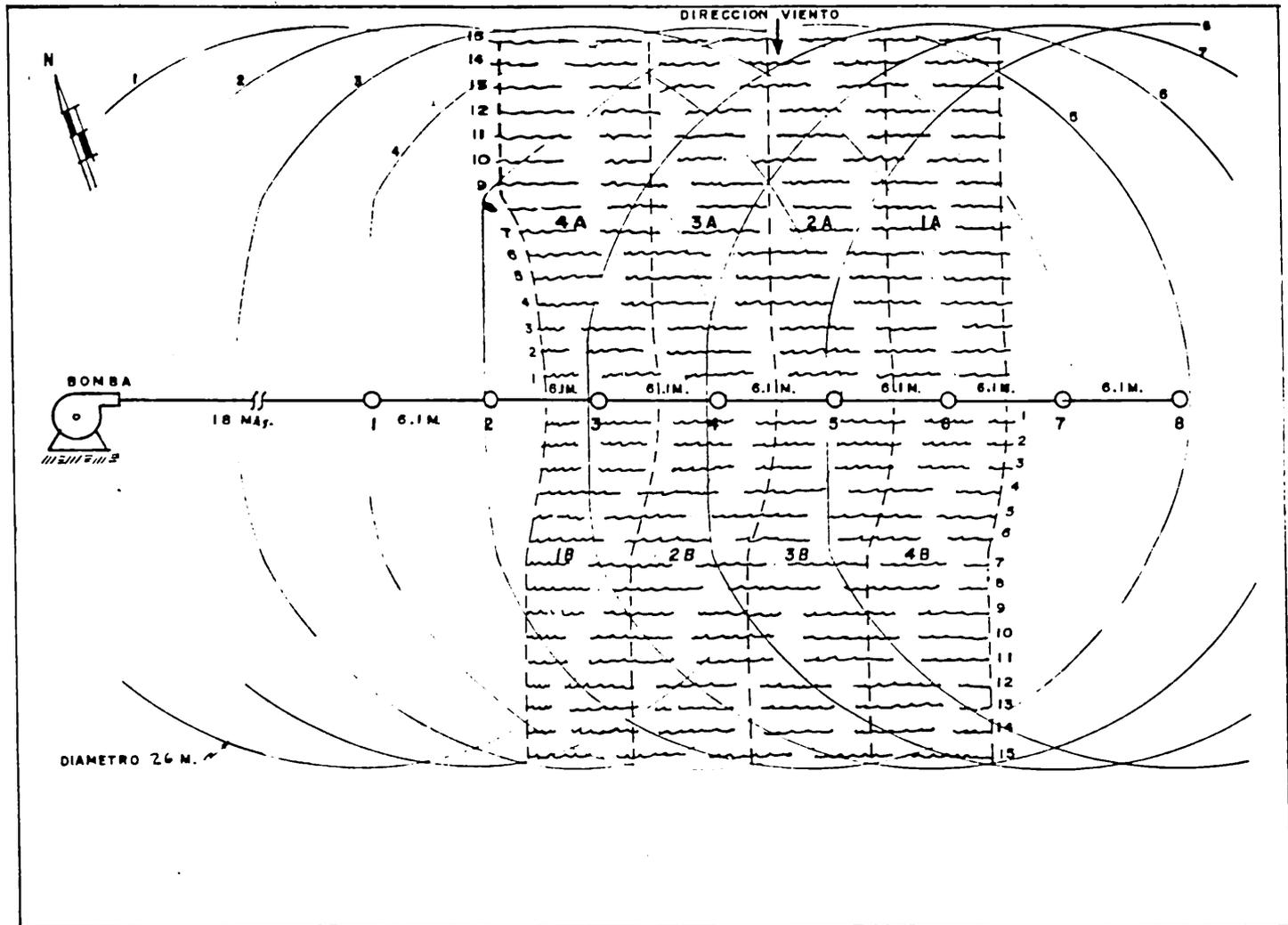


Figura 1. Distribución de tratamientos en el lote experimental y línea de aspersión utilizada como generadora de gradientes de riego.

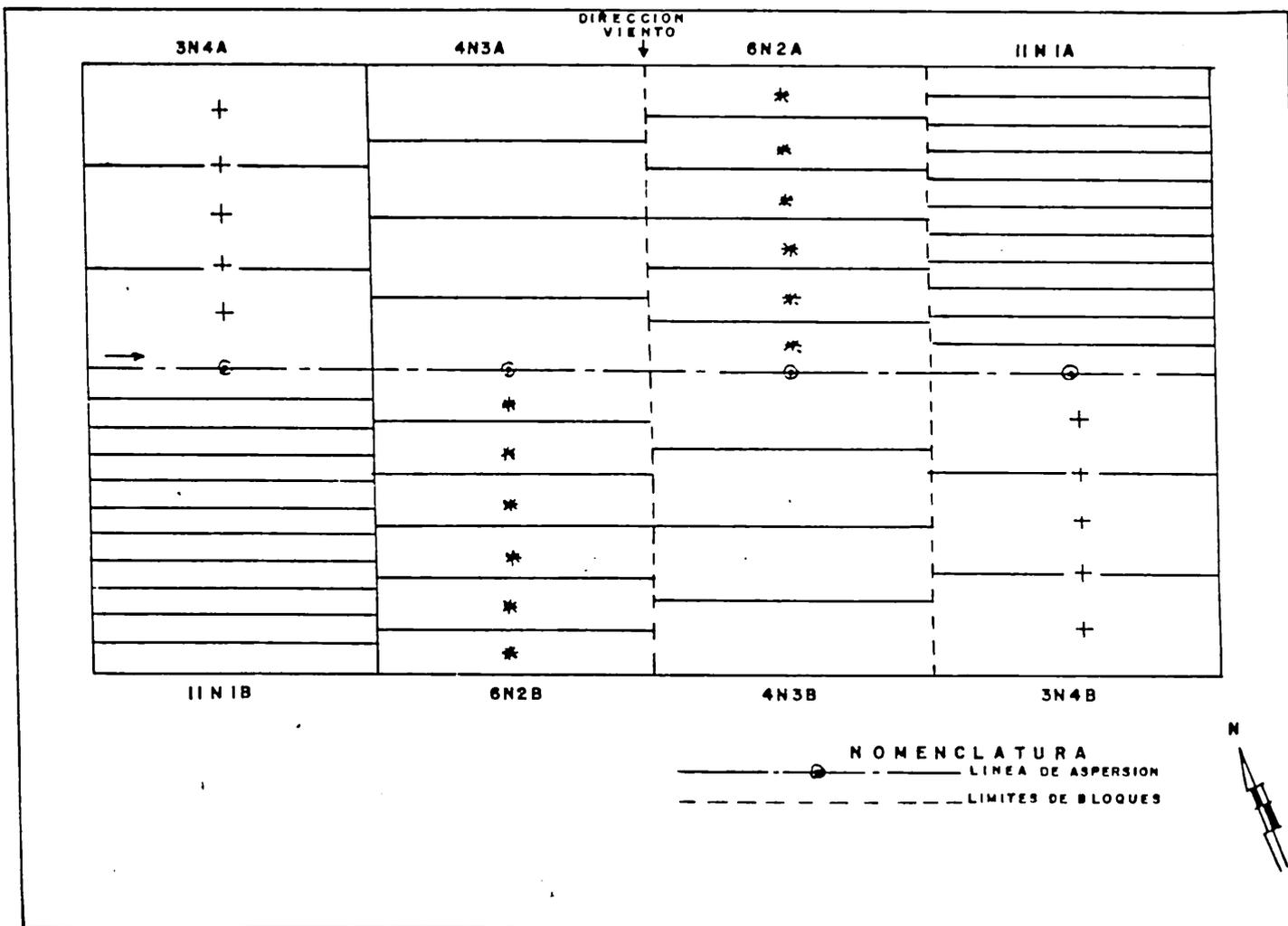


Figura 2. Distribución de los niveles de riego en estudio en los tratamientos, lados A y B y localización de los puntos de muestreo de humedad.

sublote.

En relación a los sublotes A, B se asignaron de la manera siguiente: de pie en la tubería regante y con la vista de frente al flujo, el área experimental simétrica a mano izquierda fue denominado sublote experimental (A) y el derecho (B).

Análisis Estadístico Experimental

Como el riego es aplicado en forma sistemática no puede ser aleatorizado, siendo imposible asignarle un valor de probabilidad estadística para el análisis de varianza bajo un diseño típico experimental; sin embargo, se pueden aleatorizar otros tratamientos perpendiculares a la línea que interactúan con el riego sistemático.

Como las respuestas de los cultivos son afectadas por la distribución del régimen de humedad durante el ciclo, entonces el gradiente sistemático de riegos debe inducir una función de producción continua "in situ", estrechamente asociada con los niveles de riego; por lo tanto, el muestreo siguió un comportamiento continuo perpendicular a la regante, haciendo cuatro muestreos de diferente número de muestras colectadas en 1, 2, 3 y 4 hileras, para evaluar las respuestas al gradiente de humedad, las cuales deben ser estadísticamente iguales - al muestrear paralelamente a lo largo de la tubería de riego.

Ensayos Especiales de Significancia Estadística.

Diferencia de medias.

Como diferentes tamaños de muestra fueron extraídos de una misma población de plantas, entonces fue asumido que las medias muestrales eran iguales entre sí y representativas de la media poblacional con desviación estándar explicable en función de los niveles de humedad.

Para evaluar la similitud entre métodos de muestreo, se aplicó la prueba t de student, esperando encontrar una diferencia no significativa entre medias muestrales, especialmente en aquel muestreo más exacto y continuo.

Para ensayar la hipótesis de que las muestras provenían de la misma población con $\bar{Y}_1 = \bar{Y}_2 = \bar{Y}_3 = \bar{Y}_4$, lo mismo - que $S_1^2 = S_2^2 = S_3^2 = S_4^2$ se utilizó el estadístico t_c dado por:

$$t_c = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{S_{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}}$$

Siendo $S_{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}$ la desviación estándar combinada de los estimadores insesgados S_1 y S_2 correspondientes a los tamaños de muestra 1 y 2.

$$S_{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2} = \sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Donde:

\bar{Y}_1, \bar{Y}_2 = medias muestrales extraídas de una población

n_1, n_2 = tamaños de muestra

S_1, S_2 = desviaciones típicas observadas en las muestras 1 y 2

El ensayo de hipótesis al nivel de significancia del 0.01 y $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad se planteó de la siguiente manera:

$$H_0 : \bar{Y}_1 = \bar{Y}_2 \quad H_a = \bar{Y}_1 \neq \bar{Y}_2$$

La hipótesis nula H_0 fue aceptada cuando el valor del estadístico t_c fue encontrado dentro del recorrido de la t -student tabular. (Cantú Sin fecha).

Relación de Varianzas.

Esta prueba fue aplicada para decidir si la variabilidad muestral no era mayor entre un método y otro; para tal fin fue utilizado el estadístico F , expresado como:

$$F = \frac{\hat{S}_1^2}{\hat{S}_2^2}$$

Tal prueba ayudó a decidir si dos muestras de tamaño "m" y "n" con varianzas medidas \hat{S}_1^2 y \hat{S}_2^2 realmente provenían de la misma población; la hipótesis nula fue aceptada cuando el valor de F calculado resultaba menor que el valor de F tabulado al 99 por ciento de confianza con $m-1$ y $n-2$ grados de libertad. (Cantú Sin fecha).

U.A.A.A.N.

00757

Regresiones y correlaciones.

Las regresiones fueron utilizadas para ajustar la tendencia de las variables observadas de respuesta a algún modelo, lineal o cuadrático, y poder predecir el efecto de los niveles de humedad sobre los incrementos en producción.

De cada diagrama de dispersión se esperaban diferencias significativas en sus predicciones puesto que los diagramas de dispersión fueron contruidos con datos muestrales colectados de una misma población.

El coeficiente de correlación (r) fue usado como una medida del ajuste de la regresión o proporción de la variación total de los datos explicable por el modelo. Para evaluar la significancia del coeficiente de correlación se aplicó el estadístico F_c calculado para un modelo cuadrático como: (Murray, 1979).

$$F_c = \frac{r \sqrt{n-3}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Si $F_c > F$ con $(n-3)$ grados de libertad al 95-99 por ciento de confianza se rechazaba la hipótesis nula ($r = 0$) y aceptando la alternante ($r \neq 0$). Para un ajuste lineal el estadístico fue expresado por: (Yamane, 1980).

$$F_c = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Tales expresiones son típicamente usadas para analizar la varianza en las regresiones.

Bondad de ajuste.

Para decidir si había diferencias importantes entre los valores de la población y las muestras, se aplicó el ensayo chi-cuadrado (χ^2) el cual probó la bondad de ajuste entre la distribución teórica estimada con la función de producción de ajuste más exacto y continuo, y la distribución muestral observada con 11, 6, 4 y 3 niveles de riego.

El estadístico χ^2 se utilizó como medida de la discrepancia entre datos observados y esperados, calculando χ^2 con la expresión siguiente: (Yamane, 1980).

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(Y_i - \hat{Y}_j)^2}{\hat{Y}_j}$$

Donde:

Y_i = dato observado con 11, 6, 4 y 3 niveles

\hat{Y}_j = dato estimado con la función de producción más exacta y continua.

Si χ^2 resultara menor que el valor tabular con n-1 grados de libertad y 99 por ciento de confianza, entonces los datos observados y estimados concordaban aceptablemente.

Tamaño mínimo de muestra.

Fue estimado para un coeficiente de correlación aceptablemente mayor que cero ($r \geq 0.80$), utilizando un ensayo bilateral de la prueba t student al 95 por ciento de confianza

y $n - 2$ grados de libertad; el tamaño mínimo de muestra fue aproximado resolviendo iterativamente la siguiente expresión: (Yamane, 1980).

$$n = \left(\frac{t_{0.95} \sqrt{1 - r^2}}{r} \right)^2 + 2$$

En donde r es el coeficiente de correlación deseado entre variable de respuesta y gradiente de humedad.

Regresión de las Funciones de Producción.

La próxima etapa del análisis de datos consistió en ajustar las predicciones de cada función de producción a una regresión lineal simple en función de los datos reales; este procedimiento de ajuste considera una recta con coordenadas en el origen, obteniéndose los coeficientes de: determinación (r^2) y los de regresión (α y β), los cuales se someten a las pruebas de hipótesis t student planteadas para evaluar el poder de predicción de cada función y justificar su selección para el o los niveles de riesgo aceptables.

Prueba de hipótesis.

Se planteó el supuesto de que las funciones de producción generan estimaciones que se ajustan linealmente a los datos medidos en campo, procedimiento utilizado en este caso para determinar el nivel de riesgo real ocurrido en las condiciones agronómicas, climatológicas y operativas del sistema de riego utilizado del área experimentada, considerando que

el ajuste deseable entre los datos reales y los estimados, debería ser una recta con ordenada al origen (α) igual a cero y una pendiente (β) igual a uno (sobre un ángulo de 45°) entonces las interrogantes son: $\alpha = 0$, $\beta = 1$ y $r = 0$. La aceptación o rechazo de estas hipótesis se hizo en base a la prueba t student, cuyos estadísticos para α , β y r se calcularon de la siguiente forma: (Infante y Zárate, 1984).

1. La primera hipótesis establece que para considerar apropiada una función de producción, su pendiente del ajuste lineal con los datos reales debe ser igual a uno.

$$H_0 : \beta = 1 \qquad H_a : \beta \neq 1$$

Donde la hipótesis nula parte del supuesto que la pendiente β debe ser igual a 1 y la hipótesis alternante dice que β es diferente de uno. Para comprobar lo anterior se utilizó la siguiente expresión:

$$t_c = \frac{\beta - 1}{\sqrt{\frac{s^2}{\sum (x - \bar{x})^2}}}$$

Donde:

t_c = valor de t calculada

β = pendiente resultante de la regresión.

Procediéndose luego a obtener la t de tablas, dependiendo del número de grados de libertad (g.l.), que en este caso es igual a cuatro y un nivel de significancia del 95 por ciento, resultando un valor de $t = 2.78$ que intervino en cada comparación (ensayo bilateral), tanto para la hipótesis de la pendiente β como de la ordenada al origen .

Si $t_c >$ que t de tablas, entonces ($\beta \neq 1$) y se rechaza la hipótesis nula, aceptándose la alternante.

La expresión para obtener la varianza S^2 es la que se describe a continuación:

$$S^2 = \frac{1 - r^2}{n - 2} \sum (Y - \bar{Y})^2$$

$$= \frac{1 - r^2}{n - 2} \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right)$$

Donde:

r^2 = coeficiente de determinación

n = número de datos del nivel de riego

Y = valores de rendimiento de la función de producción

2. La segunda hipótesis prueba la significancia estadística de los valores α encontrados pa-

ra una regresión y los compara contra la tendencia deseable; en otras palabras, indica qué tan próximo está un valor del otro deseado.

$$H_0: \alpha = 0 \qquad H_a: \alpha \neq 0$$

Por lo tanto, la hipótesis nula supone que $\alpha = 0$ (el valor deseado) y la hipótesis alternativa establece que $\alpha \neq 0$ (o sea, es significativo).

Para evaluar cuantitativamente la hipótesis se procedió a calcular lo siguiente:

$$T_c = \frac{\alpha}{\sqrt{\frac{S^2 \sum X^2}{\sum (X-\bar{X})^2}}}$$

Donde:

t_c = valor de t calculada

α = ordenada al origen resultante de la regresión

S^2 = varianza

X = datos medidos de rendimiento

La decisión estriba en la siguiente condición: si $t_c > t$ tablas, entonces ($\alpha \neq 0$), por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la alternativa.

3. La tercera hipótesis prueba la significancia del coeficiente de correlación r , e indica si la asociación entre los datos realmente es explicada por la ecuación de ajuste ($Y = \alpha + \beta X$).

$$H_0: r = 0 \quad H_a: r \neq 0$$

Donde la hipótesis nula supone que el ajuste es estadísticamente igual a cero y la alternativa que el ajuste es cercano a uno; la hipótesis fue ensayada en base al siguiente estadístico:

$$T_c = \frac{r \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}$$

Donde:

t_c = valor de t calculada

r = coeficiente de correlación

r^2 = coeficiente de determinación

n = número de datos de nivel de riesgo

Se obtuvo el estadístico t de tablas con cuatro grados de libertad y un nivel de significancia del 99 por ciento, resultando un valor crítico de $t = 4.60$, la decisión fue tomada de acuerdo a la siguiente regla de comparación:

Si $t_c > t$ tablas, entonces se rechaza la hipótesis nula ($r = 0$), aceptándose la alternativa ($r \neq 0$).

Trabajos de Campo y Manejo del Experimento

Las prácticas agronómicas llevadas a cabo en el presente trabajo fueron las recomendadas por el Campo Agrícola Experimental de La Laguna (CIFAP-INIFAP-SARH); cabe aclarar que en el ciclo anterior no se estableció ningún cultivo, las actividades importantes durante el ciclo son mostradas en el Cuadro 1A.

Preparación del Terreno.

Se llevó a cabo un barbecho profundo, rastreo cruzado y nivelación con land plane, procediéndose posteriormente a delimitar el lote experimental.

Siembra.

La siembra se hizo en seco con sembradora mecánica operada con tractor el 24 de junio de 1988; la semilla utilizada fue variedad Pinto Laguna 80 desarrollada por el Campo Agrícola Experimental de la Laguna, la cual se adapta y resiste a las altas temperaturas que se registran en la región; su ciclo vegetativo es menor de 95 días a la madurez, es un grano pinto de color café claro y de tamaño grande.

La densidad de siembra fue de 45 kg/ha, con esta cantidad la sembradora fue calibrada para depositar de 10 a 13 plantas por metro lineal, la separación entre hileras de plantas fue de 0.7 m colocando las semillas mecánicamente a una profundidad de aproximadamente 6 cm.

Fertilización.

La aplicación del fertilizante sólido fue hecha al mismo tiempo que la siembra mediante la sembradora, la cantidad recomendada al momento de la siembra es 50 kg de nitrógeno por hectárea y 40 kg de fósforo por hectárea, la aplicación se hizo en banda a un lado de la hilera del cultivo sembrado.

Labores culturales.

Se efectuaron tres labores del cultivo durante el ciclo antes de los riegos 2, 3 y 4. En forma mecánica con cultivadora de concha o comúnmente denominada "de gallina", posteriormente entre riegos 2 y 3, y 3 y 4, con cuchilla cultivadora se formaron surcos entre hileras y bordos en las hileras para la aireación del cultivo, que en los tratamientos muy húmedos presentó síntomas de amarillamiento debido a los excesos de humedad, lo cual corrigió dicho problema; el deshierbe entre plantas se hizo en forma manual con azadón.

Plagas.

Las plagas que se presentaron con mayor frecuencia fueron mosca blanca (Trialeurodes vaporariorum) y minador (Liriomyza sp.); la mosca se presentó a los 18 días de la siembra (12 de julio de 1988) cuando el cultivo estaba entre 5 y 10 cm de altura, su control fue posible hasta cosecha con aplicaciones de insecticidas para combatirla, y el minador apareció a los 11 días de aparecer la mosca blanca, controlándose también durante el ciclo hasta cosecha con aplicaciones frecuentes; las fechas de aplicación son dadas en el Cuadro A1.

Riegos.

El 1° de julio de 1988 se aplicó el primer riego con el fin de obtener la nacencia del cultivo sembrado en seco, cabe aclarar que los días 26, 27 y 28 del mes anterior se tuvo una precipitación pluvial de 16 mm, cantidad que inició el proceso de germinación, fomentado e hidratado de la semilla hasta nacencia de guía en la misma, el riego posteriormente continuó el proceso.

Antes de dar el tiempo de riego de 4 horas 15 minutos del primer riego, se hizo un muestreo pluviométrico para determinar condiciones de velocidad de viento, las cuales fueron:

- La velocidad del viento medida con anemómetro portátil durante el riego, registró

un rango de 0.3 a 2.3 m/s (1.08 a 8.28 km/h), una media de 1.18 m/s (4.25 km/h), con una desviación estándar de 0.64 m/s (2.30 km/h) y un CV = 54 por ciento; como se puede observar, estos datos son poco confiables para ser expresados en función de su media aritmética, bajo esta asunción, se puede decir que este vector ocurrió con más frecuencia durante el riego con moda de 1 y 1.5 m/s (3.6 y 5.4 km/h), con mediana 1.2 m/s (4.32 km/h), la dirección del viento fue perpendicular a la regante, afectando más al subote experimental lado (A) de la regante.

Los gradientes de láminas de riego aplicadas en ambos lados de la tubería regante son mostrados en los Cuadros 13 y 14 para todos los riegos.

Para los siguientes riegos 2, 3 y 4 se procedió en los muestreos de agua irrigada de manera similar al riego 1, observándose condiciones de velocidad del viento dentro del rango de magnitud y dirección similares al riego 1, la duración del tiempo de riego fue de: 2 horas, 3 horas 37 minutos y 4 horas 30 minutos, los días 8 y 17 de julio, y el 18 de agosto de 1988, respectivamente.

- El momento de riego quedó definido por los siguientes dos criterios: el primero en base al contenido de humedad en el perfil de 0-60 cm, o sea, cuando se abata un 60 por ciento de la humedad aprovechable entre las hileras 2 y 3 por ambos lados de la regante, el segundo criterio contempló regar bajo condiciones de mínima velocidad de viento, las cuales sólo fueron posible por la noche o madrugada; a pesar de esto, fueron meses excepcionalmente lluviosos y las situaciones de viento mínimas prevalecientes durante los riegos estuvieron dentro de los rangos reportados en el riego N° 1.

Características de la línea de Aspersión Utilizada.

Esta estuvo formada por ocho aspersores metálicos de giro e impacto, boquillas 5.56X3.18 mm, ángulo 20° de descarga del chorro mayor con la horizontal, espaciamiento entre aspersores 6.1 m, diámetro de la tubería regante 51.1 mm de 6.1 mm de longitud, tubo elevador del aspersor de 19.1 mm de diámetro y 1.0 m de longitud, la presión de operación a la entrada de la línea de riego fue de 2.94 kg/cm² para todos los riegos, produciéndose un radio de mojado de aproximadamente 12.6 m y un gasto de aspersor de 0.75 l/seg., mediante cálculos hidráulicos se verificó que la diferencia en gasto y presión fuera menor de 10 y 20 por ciento, respectivamente.

Muestreos de Humedad.

El método utilizado para el muestreo de humedad fue el gravimétrico, el cual fue realizado después de cada riego en los siguientes perfiles: 0-30, 30-60 y 60-90 cm, con el propósito de observar de qué manera el riego sistemático se induce o distribuye en los perfiles del suelo; en la Figura 2 se muestra la ubicación de los pozos de muestreo, aclarando en la misma que los muestreos de humedad de los pozos marcados con (*) fueron hechos para los riegos 1 y 2, y los marcados con (+) durante los riegos 3 y 4, se muestreaba la humedad continuamente entre las hileras 2 y 3 por ambos lados de la tubería para detectar el momento de riego.

Cosecha.

Antes de la cosecha se procedió a medir la densidad de población por unidad de longitud (metro) para en base a este muestreo definir la forma de cosechar y medir las variables de respuesta; también se midió el número de vainas por planta en transectos perpendiculares a la tubería por ambos lados; durante la cosecha también se midieron gramos por planta y peso de 100 granos. Debido a fallas en la densidad de población de 7 a 10 plantas/m (Cuadro A10) (en lugar de 10 a 13) causadas por pudrición de raíz y tallo en algunas plantas en las hileras más húmedas y por deficiencias de humedad en las hileras más secas, la cosecha unitaria obtuvo mejor respuesta en el rendimiento de grano que la cosecha por hileras de los tratamientos, cosechándose en la parte -

central de las hileras. Cada sublote experimental (lado A, B) contaba con 15 hileras de cultivo paralelos a la regante y espaciadas a 0.7 m, la hilera N° 1 cercana a la tubería fue eliminada debido a excesos de agua fuera de control al despresurizarse la tubería, así como las hileras 14 y 15, las cuales por deficiencia de humedad debido a la falta de agua del riego, no tuvo producción, o ésta no fue significativa; para el método N° 1 (11 niveles de riego) no fue posible cosechar 12 hileras, sólo 11; para los demás tratamientos o métodos sí.

La cosecha se hizo en forma manual conforme se presentaron las condiciones adecuadas de madurez fisiológica en cada tratamiento, en todos los casos las vainas estaban lo suficientemente secas, dejando salir las semillas con facilidad.

Variables de Respuesta

Las variables de respuesta consideradas para la evaluación del presente experimento fueron:

- Rendimiento de grano (ton/ha)
- Densidad de población (plantas/m)
- Número de vainas por planta
- Rendimiento de grano por planta (gr/planta)
- Peso de 100 granos

Las últimas cuatro variables fueron tomadas muestreando el área unitaria útil experimental en transecto perpendicular a la regante en cada tratamiento por ambos lados.

Datos Climatológicos

Durante el desarrollo del experimento se tomaron datos diarios de temperatura máxima y mínima (en °C), precipitación y evaporación (mm), humedad relativa (porcentaje), insolación (horas: minutos) y radiación neta (Ly/día), dicha información se proporciona en el Cuadro A1.

Las últimas cuatro variables fueron tomadas muestreando el área unitaria útil experimental en transecto perpendicular a la regante en cada tratamiento por ambos lados.

Datos Climatológicos

Durante el desarrollo del experimento se tomaron datos diarios de temperatura máxima y mínima (en °C), precipitación y evaporación (mm), humedad relativa (porcentaje), insolación (horas: minutos) y radiación neta (Ly/día), dicha información se proporciona en el Cuadro A1.

RESULTADOS Y DISCUSION

Desde el inicio se ha manifestado el interés no solamente por describir los resultados obtenidos por otros investigadores en la experimentación con líneas de aspersión, sino también en construir una metodología que indique de manera ordenada el modo de proceder a usar el gradiente de humedad, así inducido, en funciones de producción y otros estudios con agua y sales.

A continuación se presentan los datos empíricos y su interpretación basada en teorías y procedimientos estadísticos especiales procurando mantener coherencia sistemática y comprensión que ayuden a establecer los propios límites de la estructura para el método buscado.

Similitud entre Métodos

Variabilidad muestral de los rendimientos.

La diferencia entre medias no resultó significativa para el sublote experimental (A), lo cual indicó que se pueden muestrear 3, 4, 6 u 11 niveles de riego sin desviaciones apreciables sobre la estimación de la media poblacional, para lo cual es importante evitar variaciones en los gastos y presiones de cada aspersor sobre la línea; regar a bajas velocidades de viento y evitar lluvias o encharcamientos den-

tro del lote de prueba.

Los vientos deforman el patrón de aspersión, la lluvia hace radiar el perfil de humedecimiento del suelo modificando la respuesta fisiológica del cultivo al gradiente de riego, y las variaciones en gasto y presión reducen la uniformidad de la aspersión, además hacen variar el radio de alcance de los aspersores.

En el Cuadro 6 se presentan los rendimientos muestreados en el lado (A) en donde se puede apreciar que los promedios fueron de 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 ton/ha al estudiar 11, 6, 4 y 3 niveles, respectivamente, lo cual hace suponer que al reducir el tamaño de muestra se sobre estima ligeramente la respuesta inducida sobre el gradiente; sin embargo, tal tendencia no resultó significativa y puede ser atribuible a la variación de otros factores ambientales que también inciden sobre el rendimiento.

En el sublote (B) solamente el método 6N 2B resultó estadísticamente igual al método 11N 1B, el resto de los métodos proporcionó medias muestrales diferentes de la población; esto se puede apreciar en el Cuadro 7. La población del lado (A) resultó estadísticamente diferente de la población del lado (B), la cual recibía la brisa que el viento arrastraba desde el lado (A), que actuaba como barrera rompevientos. Esto indica que sobre el lado (B) otros factores ambientales incidieron sobre la población incrementando su varianza que se hace patente en los tama

ños más pequeños de muestra.-

La relación de varianzas demostró que las muestras colectadas dentro del sublote (A) aplicando cualquiera de los métodos 1, 2, 3 ó 4 realmente conducen a un mismo promedio estadísticamente representativo de una misma población.

Sin embargo, la variabilidad muestral observada en los métodos 4N 3B y 3N 4B aplicados en el sublote (B) indicó que bajo ciertas circunstancias, como fallas en la población, irregularidades topográficas o deformaciones del perfil de humedecimiento, no es prudente confiar en tamaños muy pequeños de muestra pues se corre el riesgo de sesgar la estimación del verdadero promedio y de su correlación con la variable independiente.

CUADRO 6. Lámina total aplicada y rendimiento en grano para los niveles de estudio lado (A), incluyendo estadísticos muestrales.

TRAT.	11N 1A	TRAT.	6N 2A	TRAT.	4N 3A	TRAT.	3N 4A
LAM. (cm)	REND. (ton/ha)	LAM. (cm)	REND. (ton/ha)	LAM. (cm)	REND. (ton/ha)	LAM. (cm)	REND. (ton/ha)
49.93	0.803	48.72	1.122	47.50	1.251	46.29	1.284
47.50	0.911	43.86	1.166	40.21	1.349	36.57	1.481
45.00	0.977	39.00	1.439	32.92	1.581	26.85	1.431
42.64	1.221	34.14	1.465	25.63	1.152		
40.21	1.360	29.28	1.122				
37.78	1.082	24.42	0.770				
35.35	0.964						
32.92	1.393						
30.49	0.950						
28.00	1.162						
25.63	1.241						
\bar{Y}	1.097		1.181		1.333		1.399
S_x	0.193		0.254		0.183		0.102
t_c			-0.4 (NS)		1.15 (NS)		1.158 (NS)
F			1.7 (NS)		0.9 (NS)		0.28 (NS) Σ

CUADRO 7. Lámina total aplicada y rendimiento en grano para los niveles de estudio lado (B), incluyendo estadísticos muestrales.

TRAT.	11N 1B	TRAT.	6N 2B	TRAT.	4N 3B	TRAT.	3N 4N
LAM. (cm)	REND. (ton/ha)	LAM. (cm)	REND. (ton/ha)	LAM. (cm)	REND. (ton/ha)	LAM. (cm)	REND. (ton/ha)
51.97	2.231	51.19	1.960	50.41	1.390	49.63	1.475
48.84	1.993	48.06	2.169	45.71	1.785	43.36	1.201
47.28	1.954	44.93	2.079	41.01	1.463	37.10	0.871
45.71	1.921	41.80	1.709	36.32	0.614		
44.14	1.779	38.67	1.588				
42.58	1.861	35.54	1.360				
41.01	2.257						
39.45	1.980						
37.88	2.006						
36.32	1.749						
34.75	1.795						
\bar{Y}	1.957		1.811		1.313		1.182
S_x	0.168		0.312		0.497		0.302
t_c			0.598 (NS)		-2.038 (*)		3.512 **
F			3.44 (NS)		8.75 (*)		3.23 (NS)

Variabilidad muestral de los Componentes del Rendimiento.

La diferencia de medias evaluada con el estadístico *t* student y la relación de varianzas, evaluada con el estadístico *F*, indicaron que los componentes del rendimiento - pueden ser muestreados con cualquiera de los métodos 1, 2, 3 ó 4, los cuales proporcionaron estimaciones confiables y muy aproximadas al promedio poblacional como se puede observar en los Cuadros 8 y 9.

Las diferencias no significativas reportadas en dichos cuadros para tratamientos, confirman la similitud entre métodos discutidas anteriormente.

Comparación de sublotes experimentales

El lado (A), aunque recibió menos precipitación de los aspersores, mostró un rango más alto de láminas (37.8 ± 8.1 cm) en comparación del sublote (B), en donde las láminas variaron en 42.7 ± 5.4 cm.

Con respecto a los rendimientos, el lote (A) resultó menos productivo que el (B); pero la varianza en (A) fue mayor que en (B) y mostró un comportamiento estadístico congruente con las variaciones en lámina. En el Cuadro 10 se muestran los estadísticos aplicados en tal evaluación. En dicho cuadro se puede observar que la relación no significativa de varianzas, mostró que las muestras provienen de la misma población; sin embargo, las variaciones en lámina entre un lote y otro promovieron diferencias significativas en rendi-

CUADRO 8. Estimaciones de la media y la varianza para los componentes del rendimiento de la población (A) muestreada con 4 diferentes métodos (en transecto).

11 NIV. TRAT. 1				6 NIV. TRAT. 2				4 NIV. TRAT. 3				3 NIV. TRAT. 4			
LAM. (cm)	Nº EJ/ PLANTA	Gr/ PLANTA	PESO 100 GRANOS	LAM. (cm)	Nº EJ/ PLANTA	Gr/ PLANTA	PESO 100 GRANOS	LAM. (cm)	Nº EJ/ PLANTA	Gr/ PLANTA	PESO 100 GRANOS	LAM. (cm)	Nº EJ/ PLANTA	Gr/ PLANTA	PESO 100 GRANOS
49.93	6	10.7	21.5	48.72	15	18.5	25.0	47.5	12	10.8	26.28	46.29	16	18.2	25.24
47.5	13	17.0	23.5	43.86	12	16.1	25.5	40.21	12	20.7	29.45	36.57	17	20.0	26.65
45.0	14	21.1	24.4	39.00	15	17.8	28.9	32.92	18	21.7	27.63	26.85	15	19.9	26.23
42.64	11	18.8	28.8	34.14	16	19.9	26.6	25.63	16	21.5	29.47				
40.21	16	22.3	28.1	29.28	11	15.9	23.9								
37.78	10	12.6	23.1	24.42	12	15.3	23.6								
35.35	15	23.5	27.2												
32.92	9	12.8	22.0												
30.49	10	12.3	25.4												
28.0	8	11.0	27.0												
25.63	7	9.3	28.7												
\bar{Y}	10.82	15.58	25.43		13.5	17.25	25.58		14.5	18.68	28.21		16	19.37	26.04
S_x	3.31	5.12	2.69		2.07	1.78	1.96		3.0	5.27	1.55		1	1.01	0.72
t_c					- 0.86	-0.37	-0.06 (NS)		1.06	0.56	1.06		(NS)	1.61	0.77
F					0.39	0.12	0.53 (NS)		0.82	1.05	0.33		(NS)	0.09	0.04

CUADRO 9. Estimaciones de la media y la varianza para los componentes del rendimiento de la población (B) muestreada con 4 diferentes métodos (en transecto).

11 NIV. TRAT. 1				6 NIV. TRAT. 2				4 NIV. TRAT. 3				3 NIV. TRAT. 4			
LAM (cm)	Nº EJ/ PLANTA	Gr/ PLANTA	PESO 100 GRANOS	LAM. (cm)	Nº EJ/ PLANTA	Gr/ PLANTA	PESO 100 GRANOS	LAM. (cm)	Nº EJ/ PLANTA	Gr/ PLANTA	PESO 100 GRANOS	LAM. (cm)	Nº EJ/ PLANTA	Gr/ PLANTA	PESO 100 GRANOS
51.97	20	20	29.5	51.19	19	24	29.2	50.41	22	30.3	29.23	49.63	12	17.38	27.65
49.84	23	31	29.9	48.06	23	33.5	32.8	45.71	16	22.7	28.17	43.36	15	28.67	29.73
47.28	20	26	30.0	44.93	29	37	29.5	41.01	20	27.3	27.3	37.1	13	18.25	27.53
45.71	19	26.5	30.5	41.8	22	25.3	28.9	36.32	10	11.3	21.27				
44.14	18	24	27.7	38.67	14	17.5	30.7								
42.58	17	24	27.3	35.54	20	27.5	21.3								
41.01	40	43.5	28.75												
39.45	22	29.5	27.7												
37.88	27	27.5	27.3												
36.32	29	33.5	30												
34.75	28	38	27.49												
\bar{Y}	23.91	29.41	28.74		21.17	27.47	28.73		17	22.9	26.49		13.33	21.43	28.30
S_x	6.73	6.80	5.36		4.96	6.98	3.91		5.29	8.34	3.57		1.53	6.28	1.24
t_c					0.42	0.27	0.00 (NS)		1.01	0.84	0.42 (NS)		1.63	1.10	0.09 (NS)
F					0.54	1.05	0.53 (NS)		0.62	1.50	0.44 (NS)		0.05	0.85	0.05 (NS)

miento, número de ejotes por planta y gramos por planta, pero al parecer el peso de 100 granos fue una variable poco sensible, o más bien, las plantas tienen capacidad para ajustar el número de granos por vaina al déficit de agua, en lugar de afectar tamaño y peso del grano.

CUADRO 10. Evaluación de la diferencia de medias y relación de varianzas entre lotes (A) y (B).

VARIABLE	DIFERENCIA DE MEDIAS, t_c	RELACION DE VARIANZAS, F
Rendimiento (ton/ha)	4.53 *	1.32
N° de ejotes/planta	2.35 *	0.24
gr/planta	2.19 *	0.57
Peso de 100 granos	0.74	0.25
Lámina aplicada	0.68	2.19 *

Regresiones y Correlaciones

El ensayo de regresiones y correlaciones se aplicó para demostrar que los datos empíricos estaban fielmente vinculados a los gradientes de humedad, y la correlación significativa entre las dos variables sirvió para confirmar la validez de la inferencia estadística y extender los procedimientos de la lógica deductiva hacia argumentos expresados en terminología práctica.

Los datos obtenidos del experimento, como se clasificaron originalmente, fueron alimentados a una computadora

programada para seleccionar la gráfica o ecuación con mejor ajuste estadístico; en este sentido la computadora ayudó a desarrollar inferencias inductivas.

En los tratamientos con muestreo más continuo la tendencia de los datos se ajustó a una ecuación cuadrática, pero tal comportamiento fue perturbado o confundido en los tratamientos con tres niveles, donde el "mejor" ajuste fue lineal. Esto indicó que se deben evaluar más de cuatro niveles de humedad para que el muestreo sea representativo de la tendencia poblacional; además, generalmente se acepta que la función de producción de grano sigue una tendencia curvilínea, - cuadrática o cúbica, raras veces lineal.

En los tratamientos con 11 niveles de humedad, el coeficiente de correlación puede ser menor que aquel obtenido con 6 niveles, pero el primero tiene mayor probabilidad de resultar significativo gracias al mayor número de grados de libertad.

El gradiente de humedad inducido sistemáticamente por la línea de aspersión produjo respuestas en el cultivo estrechamente asociadas con los niveles de humedad, y se puede asumir que la forma de la función de producción obedece a la geometría del patrón de aspersión, especialmente en ausencia de lluvias apreciables y condiciones de escurrimiento superficial controlado. Las gráficas y ecuaciones que representan la tendencia ajustada de los datos son mostradas en las Figuras de - la 3 a la 10; los ANVA en los Cuadros A2 a A9.

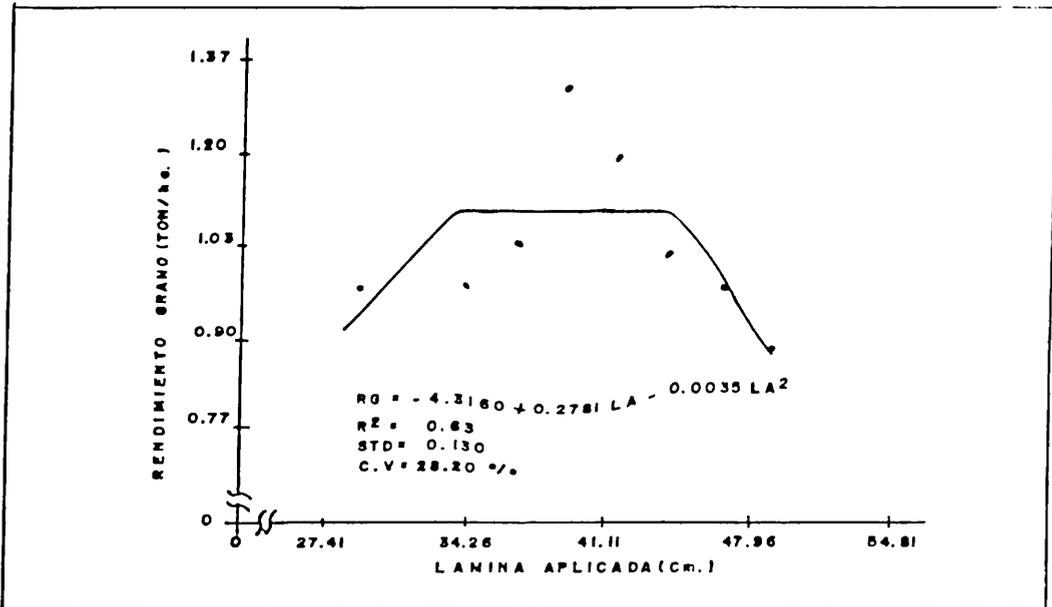


Figura 3. Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 11N 1A.

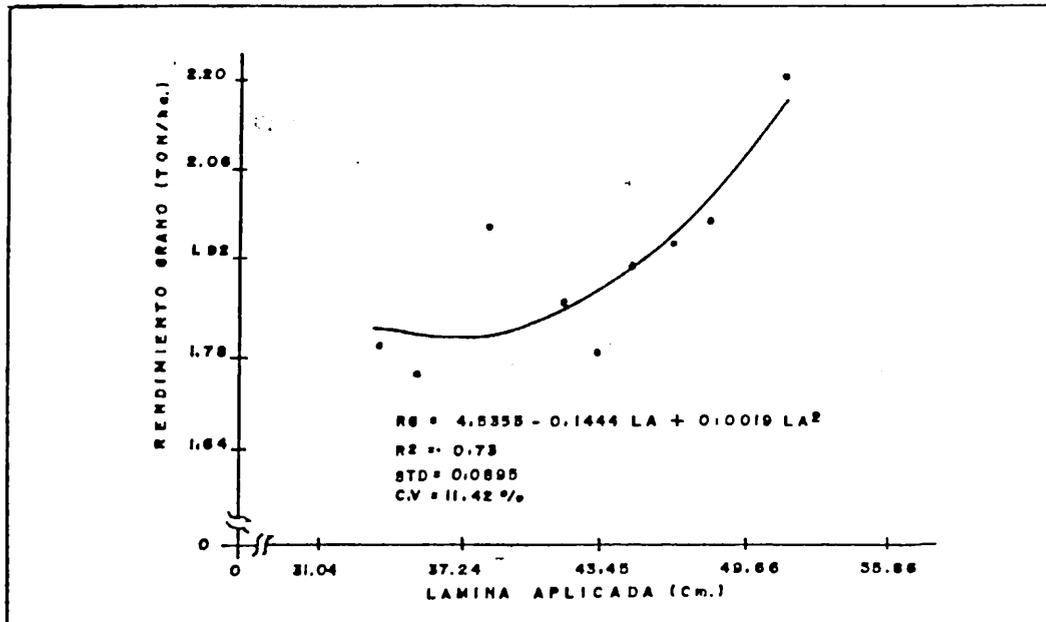


Figura 4. Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 11N 1B.

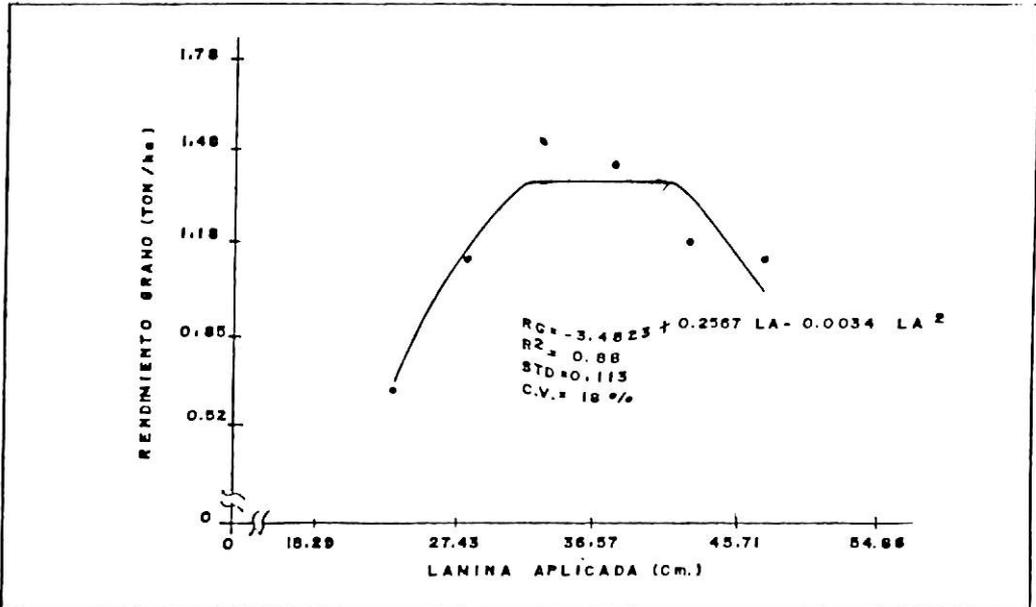


Figura 5. Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 6N 2A.

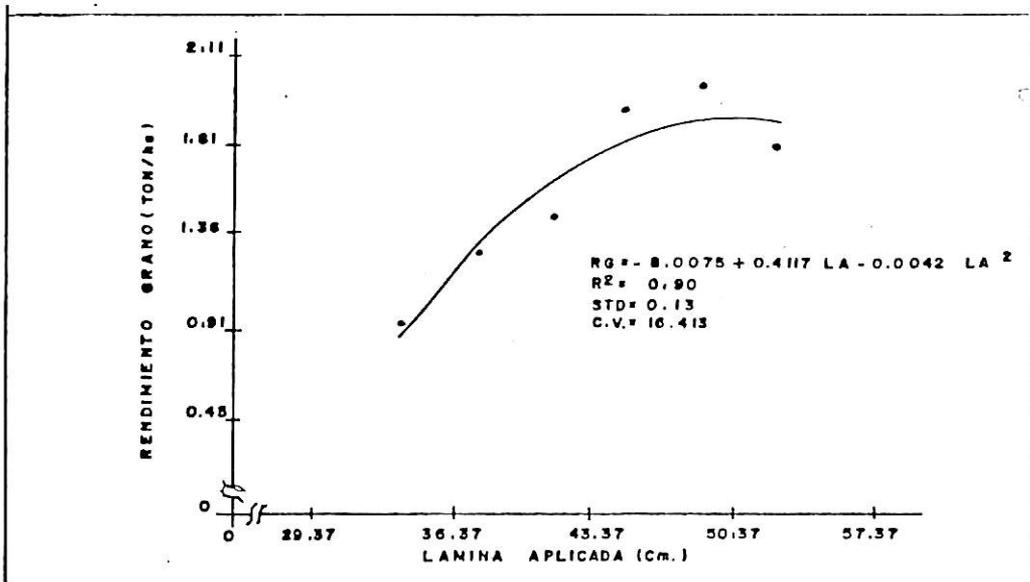


Figura 6. Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 6N 2B.

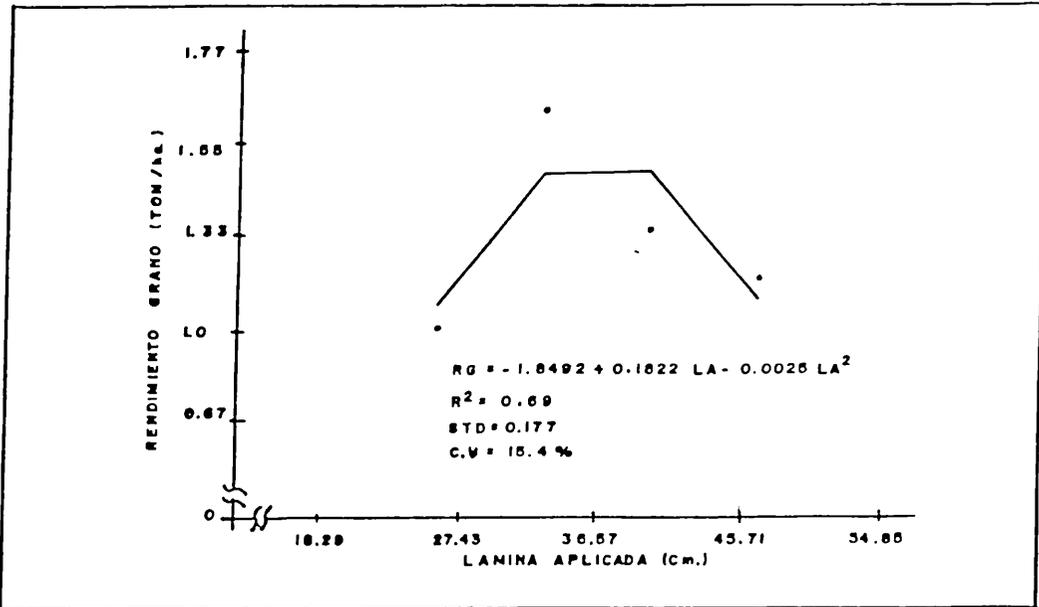


Figura 7. Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 4N 3A.

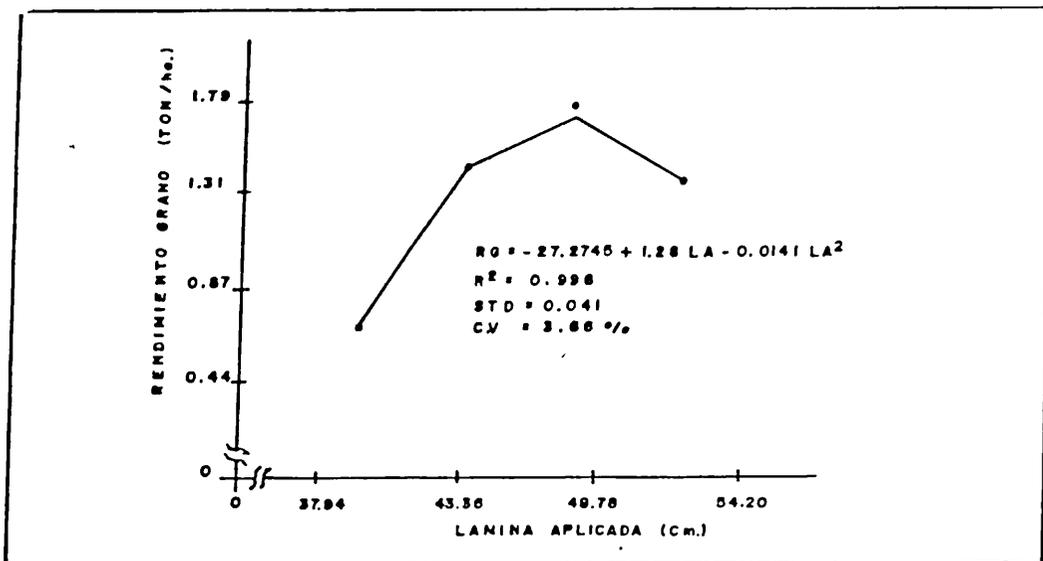


Figura 8. Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 4N 3B.

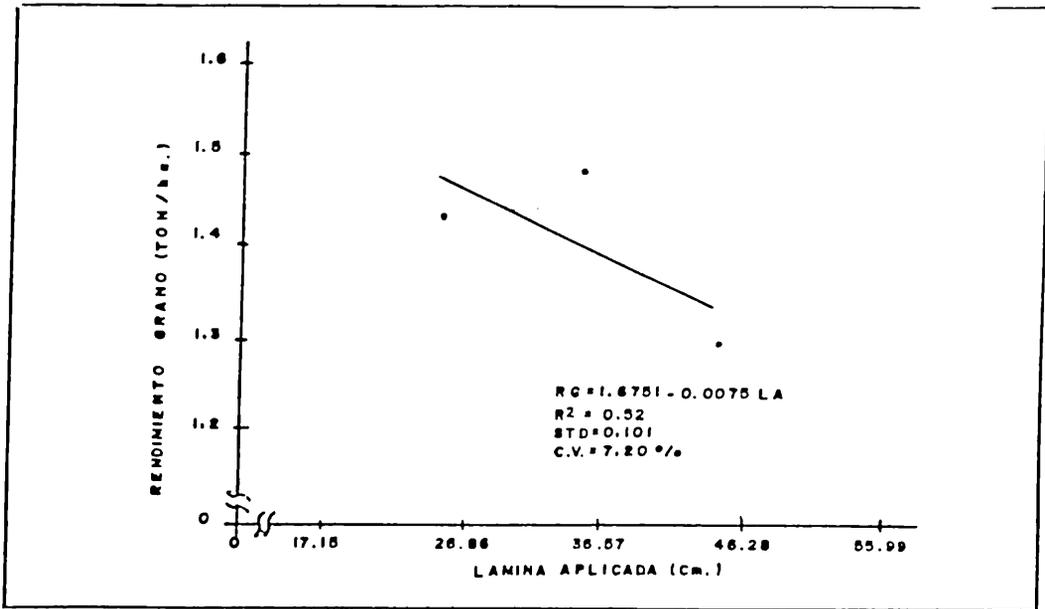


Figura 9. Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 3N 4A.

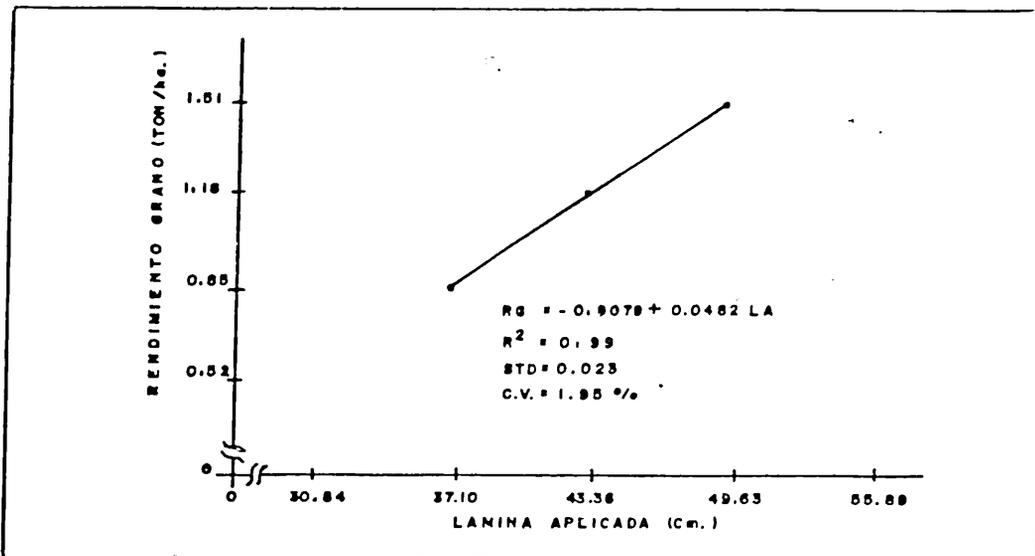


Figura 10. Respuesta del rendimiento en grano de frijol (RG) a la lámina de agua total aplicada (LA), tratamiento 3N 4B.

Tamaño Mínimo de Muestra

Para que un coeficiente de correlación mayor o igual a 0.8 resulte significativo se requiere un tamaño de muestra mínimo de 6 niveles, al manejar un menor tamaño se deben obtener $r \geq 0.9$ y al incrementarse el tamaño de muestra hasta 11 niveles la significancia se logra con una $r \geq 0.6$, pero se incrementa el trabajo experimental y el costo de la investigación, especialmente cuando se requieren las funciones de producción para una serie de cultivos y variadas condiciones.

En base al tamaño mínimo de muestra, se ensayó la bondad de ajuste de la ecuación cuadrática obtenida para el tratamiento de 6 niveles, comparando sus datos estimados contra los datos observados en los otros tratamientos.

Bondad de Ajuste

La prueba chi-cuadrado (χ^2) al 99 por ciento de confianza, indicó que la función cuadrática obtenida con 6 niveles tiene poder para predecir cualquier dato de la población asociado con el gradiente de agua, pero es exclusivo de cada sublote, y sus coeficientes de regresión están formalmente vinculados a las condiciones de su ocurrencia empírica.

La ecuación del sublote (A) predice cualquier valor de la población del lado (A), $\chi^2 = 1.73$ $\chi^2 = 11.9$ de tablas al 99 por ciento de confianza y 3 grados de libertad; pero al tratar de predecir los rendimientos del sublote (B) la ecuación cuadrática pierde su bondad de ajuste, ($\chi^2 = 14.6$).

A mayores valores χ^2 , mayores son las discrepancias entre datos observados y esperados; si $\chi^2 = 0$, los datos observados y esperados concuerdan aceptablemente.

Funciones Formalmente Vinculadas a su Ocurrencia Empírica

Se seleccionó el modelo de regresión cuadrático para los ajustes de regresión de los tratamientos por la tendencia observada en los diagramas de dispersión de los datos - medidos en los tratamientos más continuos y exactos (11 y 6 niveles), y además porque generalmente se acepta que la funcción de producción de grano sigue una tendencia curvilínea (no lineal) cuadrática o cúbica, rara vez lineal. (Figuras 3 a 10).

Al optimizar la función cuadrática de producción del tratamiento 6N 2A se tiene un rendimiento máximo de 1.36 ton/ha con una lámina de 368 mm; para el tratamiento 4N 2A también cuadrático se tiene un rendimiento máximo de 1.47 ton/ha con una lámina de 364 mm.

Optimizando las funciones de producción obtenidas, para el tratamiento 6N 2B se tiene un rendimiento máximo de 2.08 ton/ha, con una lámina de 490.1 mm, para el tratamiento 4N 3B también cuadrático, un rendimiento máximo de 1.78 ton/ha con 453.9 mm de lámina; por último, el tratamiento 3N 4B el cual no debería de ser forzado a una recta, tiene un rango de 0.88 a 1.50 ton/ha con 370 a 500 mm de lámina, con media 1.19 ton/ha y 435 mm de lámina.

Tendencia de los Componentes del Rendimiento

Las variables de respuesta como: número de ej/planta, gr/planta y peso de 100 granos, también se sometieron a un ajuste estadístico, encontrando que no existen diferencias significativas entre tratamientos. A pesar de esto, algunas variables presentaron buena correlación entre datos y aceptable r^2 , los parámetros estadísticos para los diversos tratamientos, así como tipo de ajuste de regresión que se obtuvo son mostrados en el Cuadro 11.

CUADRO 11. Parámetros estadísticos de las variables de los componentes del rendimiento para los niveles en estudio.

VARIABLE RESPUESTA	PARAMETRO ESTADISTICO				TRATAMIENTOS		
	C.V. (%)	E. STD.	SIGNIFI. (5%)	r^2	TIPO AJUSTE	SUBLO.	METODO
N° Ej/planta	12.89	3.3	NS	0.64	Cuadrática	A	4N 3A
N° Ej/planta	31.59	5.36	NS	0.66	Cuadrática	B	4N 3B
Gr/planta	9.21	1.72	NS	0.96	Cuadrática	A	4N 3A
Gr/planta	4.0	0.78	NS	0.71	Lineal	A	3N 4A
Gr/planta	32.0	7.34	NS	0.74	Cuadrática	B	4N 3B
Peso 100 granos	10.12	1.50	NS	0.65	Cuadrática	A	6N 2A
Peso 100 granos	6.86	1.93	NS	0.48	Cuadrática	A	4N 3A
Peso 100 granos	16.34	2.71	NS	0.71	Cuadrática	B	6N 2B
Peso 100 granos	4.53	1.20	NS	0.96	Cuadrática	B	4N 3B

Como se pudo observar en el Cuadro 11, aunque la respuesta de la variable no sea estadísticamente significativa, el ajuste de la regresión tiene un r^2 y un CV confiables, excepto número de ej/planta y gramos por planta; dichas variables muestreadas en transectos, tienen la misma tendencia - que la variable principal rendimiento de grano.

Confiabilidad de las Ecuaciones de Ajuste

La meta de seleccionar un método de muestreo universalmente aplicable con procedimientos, criterios y precauciones bien establecidos para juzgar el efecto de los niveles de humedad sobre las funciones de producción, es alcanzada en esta sección, confiando en que la razón ayudó a definir los propios límites estructurales de la metodología.

En los párrafos anteriores se enfocó la discusión en el análisis de datos crudos, aunque estos se pueden manejar en otras formas que mantengan coherencia sistemática y comprensión científica. En esta sección se enfoca la discusión en las ecuaciones de ajuste obtenidas en cada tratamiento - (sublote por niveles).

En cada ajuste estadístico de datos se encontraron coeficientes de regresión matemáticamente diferentes, mismos que se aproximan con cierto grado de confianza a los verdaderos - coeficientes de la función de producción del cultivo.

La tarea fue pues demostrar que la ecuación de ajuste del tratamiento 6N 2A era estadísticamente representativa y similar a las ecuaciones de los tratamientos del sublote (A) (11N 1A, 4N 3A y 3N 4A), y lo mismo para el sublote (B) en donde se debía comprobar que la ecuación 6N 2B guardaba semejanza con 11N 1A, 4N 3A y 3N 4B.

Se efectuó una regresión lineal simple entre las estimaciones de rendimiento por ecuación contra las observaciones de rendimiento medidas en campo bajo 6 niveles de riego, tomadas como patrón; este procedimiento fue llevado a cabo, por separado, para ambos lados de la regante y de esta manera poder realizar el ensayo de hipótesis en el sublote experimental (A), ambos lados (A) y (B) son tratados por separado. Se consideró el ajuste deseado aquel que proporcionara una recta con pendiente ($\beta = 1$) e intercepción en el origen de coordenadas ($\alpha = 0$); asimismo, un coeficiente de correlación ($r = 0$).

Regresiones entre datos Observados y Estimados

Los coeficientes de regresión lineal simple así como el de determinación, por modelo se muestran en el Cuadro 12; en el mismo cuadro también se muestran los estadísticos t - calculados para evaluar los coeficientes de regresión (α y β), así como el de correlación (r) en base a su semejanza con el ajuste deseado de 6 niveles, el cual se mencionó anteriormente.

CUADRO 12. Parámetros de regresión lineal simple de datos estimados contra datos reales en bloques de producción y estadísticos (t student) para evaluar los coeficientes de regresión con relación a la recta: $Y = \alpha + \beta x$, CON $\alpha = 0$, $\beta = 1$ y el coeficiente de correlación con $r = 0$.

FUNCION DE PRODUCCION	DESCRIPCION TRATAMIENTO	COEF. DE REGRESION		COEF. DE DETERM. r^2	ESTADISTICO t CALCULADO			TRATAM. CLAVE
		α	β		$\alpha = 0$	$\beta = 1$	$r = 0$	
$Y = -3.4823 + 0.2567X - 0.0034X^2$	Trat 2A 6 niveles	0.1221	<u>0.8487</u>	0.871	0.248	-0.905	5.195	6N 2A
$Y = -1.8492 + 0.1822X - 0.0025X^2$	Trat 3A 4 niveles	1.2329	0.0552	0.004	2.506	-2.871	0.089	4N 3A
$Y = -8.0075 + 0.4117X - 0.0042X^2$	Trat 2B 6 niveles	0.1747	<u>0.9128</u>	0.90	0.258	-0.578	5.99	6N 2B
$Y = -27.2745 + 1.28X - 0.0141X^2$	Trat 3B 4 niveles	-3.5334	2.4564	0.96	-4.475	8.281	6.93	4N 3B

En relación al Cuadro 12, se puede observar que las ecuaciones de predicción de rendimiento bajo 6 niveles de riego ajusta los datos medidos, debido a que los coeficientes de regresión obtienen la tendencia ideal $\beta = 1$, $\alpha = 0$, las demás funciones de los otros niveles de riego subestiman o sobreestiman estos valores; por lo tanto, el rendimiento es valuado igualmente en este análisis, con el propósito de aceptar o rechazar la sub o sobreestimación de rendimientos por los diversos niveles de riego estudiados a un nivel de confianza aceptable, enseguida se procedió al ensayo de las tres hipótesis: $\beta = 1$, $\alpha = 0$ y $r = 0$, básicas para la evaluación de la precisión de los mismos, cuyos resultados están en el Cuadro 12.

Ensayo de Hipótesis para Coeficientes de: Regresión y Correlación.

Para ensayar la hipótesis ($\beta = 1$) la prueba bilateral t student fue aplicada a cada uno de los coeficientes de regresión de las rectas de ajuste por ecuación, encontrando que las funciones de producción que mejor aproximaban su predicción a los datos medidos fueron las de 6 niveles de riego por ambos lados, cuyos estadísticos quedaron comprendidos dentro del área de aceptación ($\beta = 1$) descrita por la curva t student con 4 grados de libertad mostrada en la Figura 11.

Hacia el lado izquierdo y fuera del área de aceptación se localizaron las ecuaciones de los niveles de riego que subestimaron la predicción de rendimiento, siendo los ajustes en

contrados bajo 4 niveles de riego, los cuales reportan un coeficiente de regresión $\beta < 1$ al 97.5 por ciento de confianza.

Los ajustes que sobreestimaron la predicción de rendimiento quedaron localizados hacia el lado derecho de la curva t student dentro del área de rechazo, el coeficiente de regresión $\beta < 1$ al 97.5 por ciento de confianza fue encontrado para la función de producción bajo 4 niveles de riego del sublote experimental B.

En cuanto a la intercepción con la ordenada en el origen ($\alpha = 0$) se encontró que los modelos de los tratamientos 6N 2A y 6N 2B, proporcionan un estadístico demasiado pequeño, no significativo al compararlo contra 2.78 de t de tablas al 97.5 por ciento de confianza y 4 grados de libertad, se aceptó la hipótesis nula de que alfa es igual a cero, también el tratamiento 4N 3A fue aceptada la hipótesis nula, aunque el estadístico obtenido es considerable (mayor de dos) al compararlo contra 2.68.

Para el tratamiento 4N 3B cuyo estadístico en valor absoluto es $|4.475|$ la hipótesis nula fue rechazada, por lo tanto se tiene que $\alpha \neq 0$.

En la Figura 12 se puede observar que las funciones de producción de 6 niveles de riego a ambos lados de la línea regante proporcionaron una recta con tendencia de intercepción en el origen de coordenadas del tipo ($\hat{Y} = \beta X$), mientras que las demás funciones mostraron más sesgo.

Para determinar si los coeficientes de correlación (r) eran significativamente diferentes de cero, se calcularon los estadísticos correspondientes para la prueba de dicha hipótesis, los t_c para los tratamientos 6N 2A, 6N 2B y 4N 3B son mayores de 4.60 (valor t student al 99.5 por ciento de confianza y 4 grados de libertad), lo cual indicó que los coeficientes de correlación para dichos tratamientos - eran efectivamente diferentes de cero, aceptándose la hipótesis $r \neq 0$.

Las ecuaciones obtenidas para 6 niveles de riego para ambos lados A y B, que fueron aceptados estadísticamente en la hipótesis anteriores, proporcionaron un alto coeficiente de determinación $r^2 = 0.87$ para 6N 2A, y 0.90 para 6N 2B, lo cual indican una explicación alta del porcentaje de la variación total.

Aunque el tratamiento 4N 3B con $r^2 = 0.96$ es mayor - que los anteriormente mencionados, este es rechazado en las hipótesis $\beta = 1$ y $\alpha = 0$, debido a que se sobreestiman los valores de la producción, además, es incongruente con la verdadera tendencia de la función de producción.

Al comparar los datos estimados con la ecuación 6N 2A contra los datos observados en todo el sub lote A se encontró una correlación significativa de $r = 0.49$ al 95 por ciento - de confianza y 22 grados de libertad; lo mismo fue encontrado en el sub lote B, donde el coeficiente de correlación $r = 0.5$ también fue significativo.

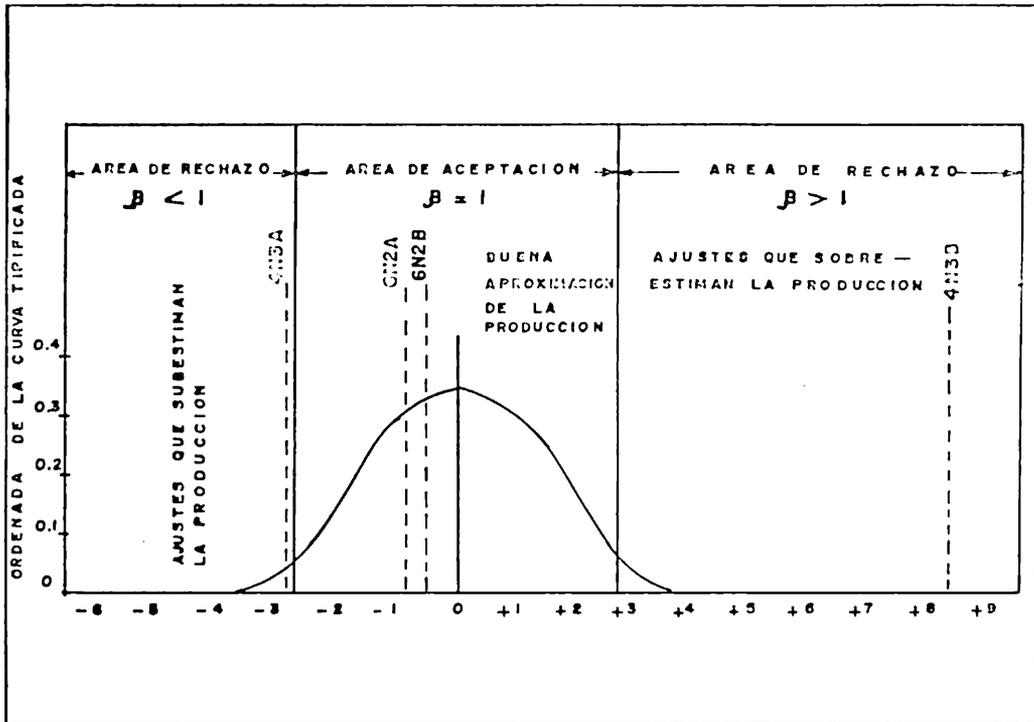


Figura 11. Ensayo estadístico de hipótesis t student, para el coeficiente de regresión $\beta = 1$.

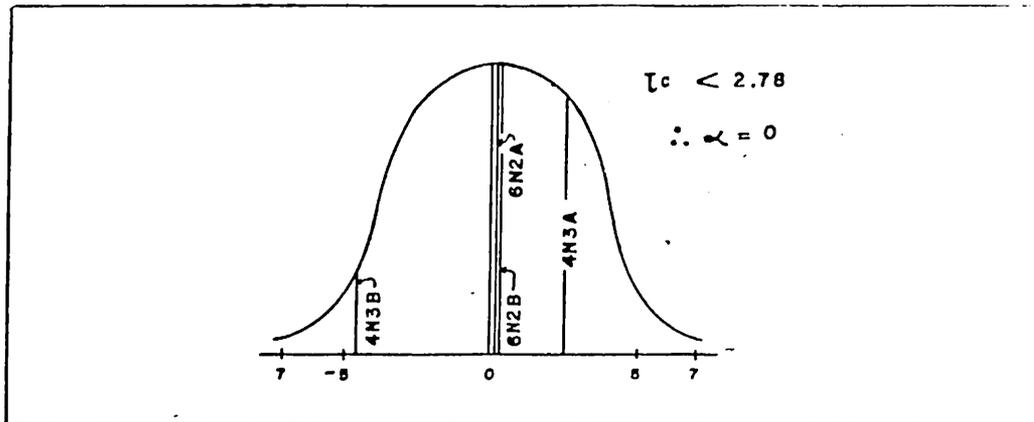


Figura 12. Ensayo estadístico de hipótesis t student, para el coeficiente de regresión $\alpha = 0$.

Análisis de Tendencias

Los propósitos principales de esta sección es mostrar las tendencias de sub y sobreestimación de datos de rendimientos predichos por las diversas ecuaciones de ajuste obtenidas para los niveles de riego probados, así como las desviaciones medias por la pendiente de su recta de regresión con respecto a una recta con pendiente de 1 que describe la tendencia ideal de los datos medidos sobre un ángulo de 45° .

Ajustes que Subestimaron la Producción.

La subestimación de rendimiento de grano por debajo de los ideales son mostrados en la Figura 13, en la que se puede observar que el tratamiento 4N 3A con baja pendiente en relación a la recta ideal indica una variación casi constante de los rendimientos, los cuales subestiman dichos valores hasta un 94 por ciento.

Ajustes que sobreestiman la Producción.

Para la sobreestimación fue encontrada la función de ajuste en 4 niveles de riego correspondiente al tratamiento 4N 3E mostrada en la Figura 14, en la cual se puede observar que dicha ecuación tendió a sobreestimar los datos en un 145.6 por ciento.

Ajustes de Aproximación Aceptable.

Las funciones de producción que estimaron los rendimientos muy próximos a las observaciones reales con un gra-

do de confiabilidad aceptable de 97.5 por ciento , fueron encontradas bajo 6 niveles de riego para ambos lados de la regante, correspondientes a los tratamientos 6N 2A y 6N 2B; en la Figura 15 se muestra el ajuste muy próximo a las condiciones ideales de los mismos; asimismo, se puede observar que las estimaciones del tratamiento 6N 2A están ligeramente retiradas de la condición real que las del tratamiento 6N 2B, esto debido a que el área del sublote (A) fue afectado durante los riegos el patrón de distribución de aspersión, derivándose cantidades de agua correspondientes para (A) al sublote experimental (B).

El ajuste de rendimientos del tratamiento 6N 2A con respecto a los rendimientos reales es de 85 por ciento con desviación 15 por ciento, el 6N 2B un 91.3 por ciento con una desviación de 8.7 por ciento, lo cual las hace confiables. Entre tratamientos existe una diferencia de 6.3 por ciento considerándose poco significativa a pesar de los inconvenientes de viento mencionados.

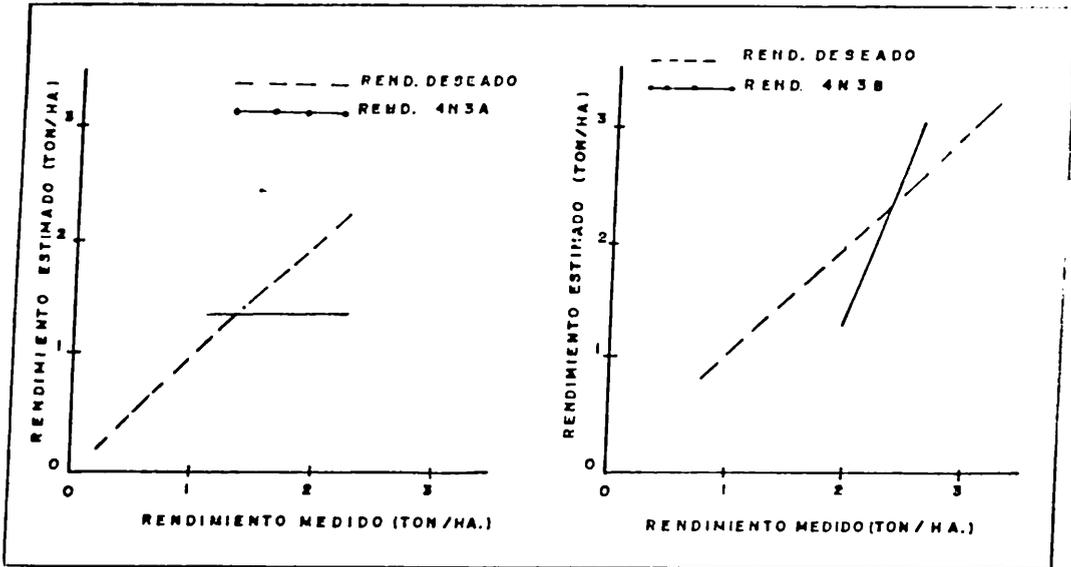


Figura 13. Ajustes de la función de producción que la subestiman en sus respectivos niveles de riego probados.

Figura 14. Ajustes de la función de producción que la sobreestiman en sus respectivos niveles de riego probados.

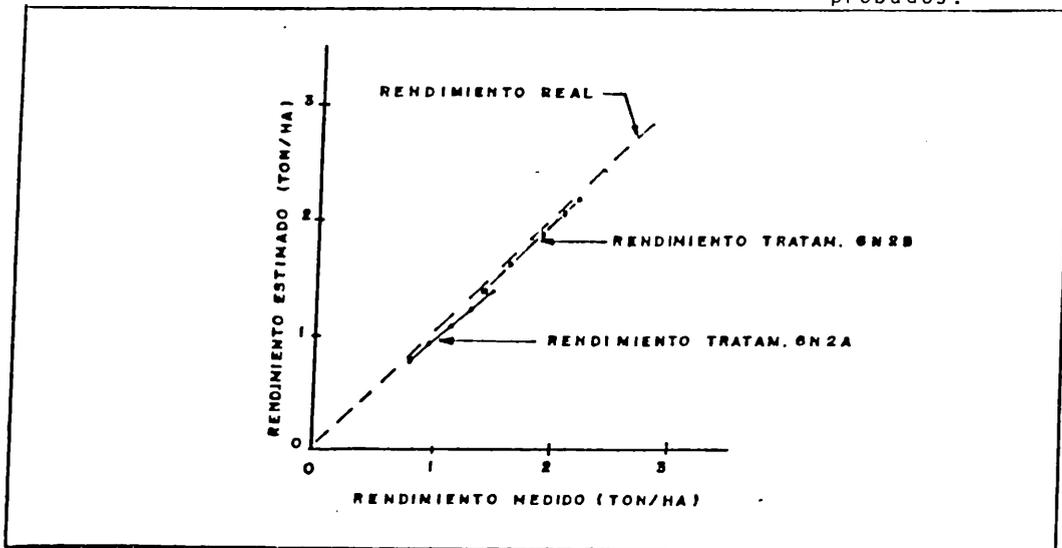


Figura 15. Ajustes de la función de producción con estimación precisa a los datos medidos,

VARIABLES DEL GRADIENTE DE ASPERSIÓN

En esta sección se proporciona la información de las variables inherentes al riego como: los gradientes de lámina aplicada para ambos lados de la tubería regante, bajo qué patrón de distribución del agua de la línea de aspersión fue proporcionado el riego, el criterio considerado para evaluar la eficiencia de aplicación de los gradientes de aplicación del agua para la línea de aspersión diseñada y condiciones climáticas en que fue operada; por último, se obtiene a través del ciclo del cultivo de qué manera el agua es distribuida en el suelo mediante muestreos de humedad por método gravimétrico en transectos perpendiculares a la regante, la localización de pozos de muestreo de humedad fue esquematizada en la Figura 2.

Gradientes de Riego Sistemático.

El número de riegos, la fecha de aplicación, así como la cantidad total de agua aplicada por la aspersión en ambos lados de la tubería son mostrados en los Cuadros 13 y 14, en los que se puede observar que durante el ciclo del cultivo hubo aportaciones por lluvia de 155 mm (52 por ciento de la cantidad promedio estimada para la Región Lagunera) y esto provocó durante el ciclo del cultivo pérdida del gradiente de humedad inducido en el suelo, mismo que se explicará en mayor detalle más adelante, las láminas de agua a las distancias mencionadas en los Cuadros 13 y 14 fueron medidas mediante botes pluviométricos en muestreos previos al riego,

CUADRO 13. Láminas de riego aplicadas más lluvias en el experimento de frijol, lado (A).

FECHA	LLUVIA (cm)	Láminas de riego (cm) aplicadas a diversas distancias (m) perpendicular a la línea de aspersión,					
		9	7	5	3	1	
JUN							
26	1.3						
27	0.1						
28	0.2						
JUL							
1		1.52	5.17	8.33	8.81	8.99	
1	0.7						
8		0.61	2.43	3.92	4.15	4.23	
9	0.6						
11	0.2						
17		1.10	4.40	7.09	7.51	7.66	
17	0.5						
21	2.8						
26	0.8						
30	5.0						
31	1.85						
AGO							
2	0.35						
4	0.30						
6	0.80						
* 18		1.36	5.47	8.82	9.33	9.52	
		15.50	4.59	17.47	28.16	29.80	30.40
Riego total acumulado =		20.09	32.97	43.66	45.30	45.90	

* A partir de esta fecha se tapó el experimento con plástico para no recibir más lluvias.

CUADRO 14. Láminas de riego aplicadas más lluvias en el experimento de frijol, lado (B).

FECHA	LLUVIA (cm)	Láminas de riego (cm) aplicadas a diversas distancias (m) perpendicular a la línea de aspersión.							
		13	11	9	7	5	3	1	
JUN									
26	1.3								
27	0.1								
28	0.2								
JUL									
1		2.61	4.79	6.65	7.96	8.86	9.47	10.0	
1	0.7								
8		1.23	2.25	3.13	3.75	4.17	4.58	4.71	
9	0.6								
11	0.2								
17		2.22	4.08	5.66	6.78	7.54	8.28	8.51	
17	0.5								
21	2.8								
26	0.8								
30	5.0								
31	1.85								
AGO									
2	0.35								
4	0.30								
6	0.80								
* 18		2.76	5.07	7.04	8.43	9.38	10.31	10.59	
		15.50	8.82	16.19	22.48	26.92	29.95	32.64	33.81
Riego total acumulado =		24.32	31.69	37.98	42.42	45.45	48.14	49.31	-

obteniéndose cantidades máximas cerca de la tubería y mínimas más alejado de la misma; los datos de cada riego, en sus respectivas distancias fueron sumariadas y correlacionados contra la distancia a la regante para ambos lados por separado (no incluyéndose la lluvia) y son mostrados en la Figura 16, en los que se puede observar un mejor ajuste de regresión del tipo polinomial de segundo grado (cuadrático), aunque el ajuste tipo lineal también es estadísticamente significativo y con una r^2 muy aceptable, estos son mostrados en el análisis de varianza (lineal y cuadrático) en los Cuadros A11 y A12.

Para la obtención de láminas de riego aplicadas en los diversos niveles de estudio del presente trabajo, se utilizó la ecuación de ajuste lineal, la cual mediante un ensayo de falta de ajuste y error de Durbin-Watson (Yamane, 1980), se determinó que es confiable su uso.

Diversas investigaciones de funciones de producción y niveles de salinidad han adoptado el criterio sobre el uso de la línea recta a la cuadrática, (Hanks et al., 1976; Stewart et al., 1977; Hanks et al., Sin fecha; Spetch et al.; 1986).

Chew (1976), menciona que en muchos experimentos agrícolas la afinidad matemática entre la respuesta (Y) y el factor cuantitativo experimental (X) es compleja que se tiene que recurrir a aproximaciones polinomiales, indicando además que si dentro de un rango limitado de (Y) el nivel de la respuesta no es distorsionada en la amplitud experimental de X, las

aproximaciones polinomiales usualmente son satisfactorias:

Señaló además, que en muchas situaciones se ha preferido la predicción de datos mediante ajuste lineal que cuadrático en los casos en que la curva asintótica muestre un corte o distorsión y que esta provenga de la estimación de pocos parámetros.

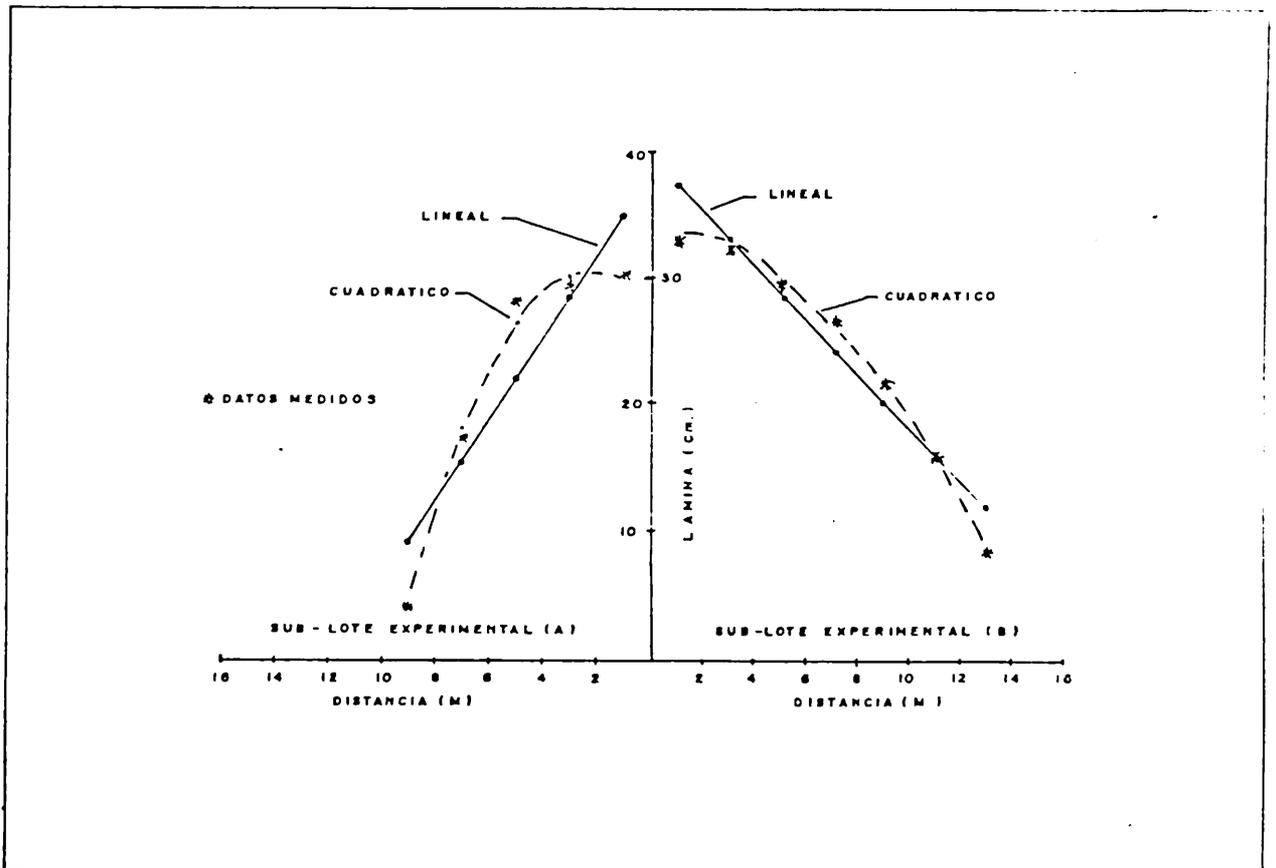


Figura 16. Ajustes lineal y cuadrático de las láminas de riego por aspersión aplicadas durante el ciclo del cultivo por ambos lados de la regante.

- Patrón de Distribución del Agua de la Línea de Aspersión.

El patrón geométrico de la distribución del agua, proporcionado por la línea de aspersión por ambos lados, fue prerrequisito para el establecimiento del presente estudio, con el propósito de constatar que la línea de aspersión a emplear fuese similar a la obtenida por Hanks et al. (1976) y que cumpliera con los criterios considerados por dichos investigadores que son: patrón triangular y uniformidad de riego aceptable.

Fueron realizados tres ensayos o pruebas para la obtención del patrón de distribución; el primero cuando la dirección del viento fue perpendicular a la regante; el segundo con dirección de viento en diagonal a la tubería, y la tercer prueba fue hecha con condiciones de magnitud de viento despreciables, los patrones obtenidos de la distribución del agua son mostrados en la Figura 17, y cada uno de ellos es explicado a continuación.

1. Patrón "perpendicular". Con este nombre fue denominado el patrón de distribución del agua bajo las condiciones de velocidad y dirección de vientos explicadas en Materiales y Métodos dentro de Riegos; estas condiciones fueron las que se presentaron durante el funcionamiento de la aspersión en todos los riegos, afectándose siempre el sublote (A). Como se puede observar en la

Figura 16, el gradiente de riegos aplicado de acuerdo al ajuste lineal, se tiene mayor pendiente pero menor alcance de área irrigada debido precisamente al efecto del viento; en el lado (B) menor pendiente pero mayor alcance debido a derivación de agua por el viento de (A) a (B).

2. Patrón "diagonal". Este patrón de distribución de agua mostrado también en la Figura 17, se refiere a que la dirección del viento entró por el sublote (B), atravesando diagonalmente al lote experimental; como se puede observar, este patrón fue menos distorsionado que el "perpendicular", permitiendo un alcance de irrigación similar para ambos lados, aclarando además que la magnitud de los vientos fue un 23 por ciento menor, el cual fue medido durante todo el tiempo de duración de la prueba, obteniéndose las siguientes características: rango de 0.3 a 2.3 m/seg (1.08 a 8.28 km/hr), una media de 0.91 m/seg (3.28 km/hr), con una desviación estándar de 0.76 m/seg (2.74 km/hr) y un CV= 84 por ciento; expresados en función de la mayor frecuencia dominante de la velocidad de los vientos durante el ensayo, una moda de 0.5 m/seg (1.8 km/hr) y una mediana de 0.65 m/seg (2.34 km/hr); estos dos últimos va-

tores, pueden ser tomados como parámetros indicativos durante la prueba. Este patrón de distribución del agua no se presentó durante los riegos pero es proporcionado en el presente trabajo como información general.

3. Patrón "en calma". Al igual que el diagonal, este patrón tampoco se presentó durante los riegos; su condiciones de viento durante el ensayo practicado no fue percibido por el anemómetro portátil durante el tiempo de prueba; cabe aclarar que sólo hubo algunos vientos inapreciables; dicho patrón es mostrado en la Figura 17, que como se puede observar en la misma, la distribución de agua aplicada bajo estas condiciones casi ideales se obtiene un patrón geométrico similar al del patrón C de la Figura A2, el cual es un patrón geométrico de distribución del agua proporcionado por un solo aspersor reportado por Christiansen - en 1942.

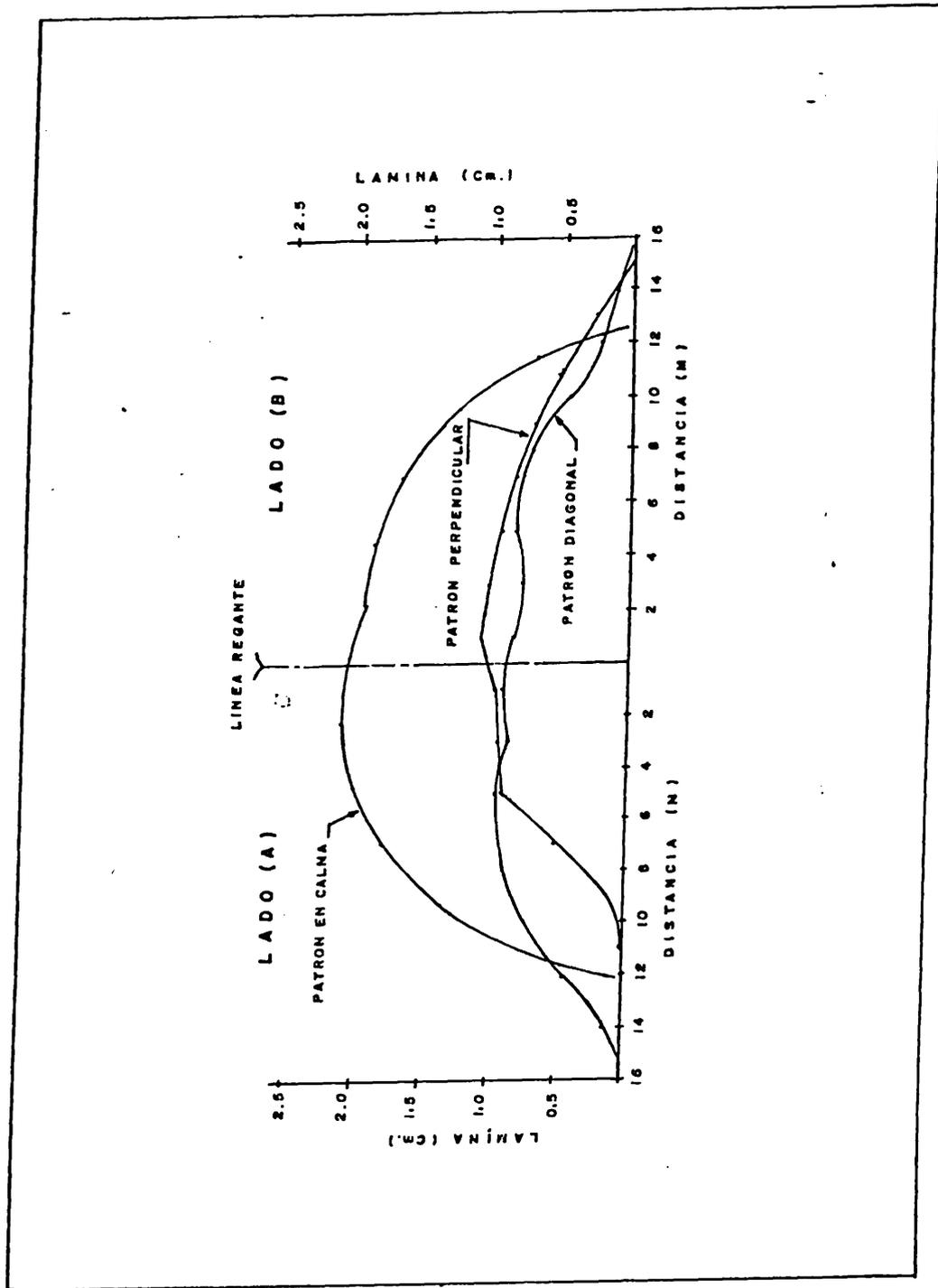


Figura 17. Patrones geométricos de la distribución de agua de la línea de aspersión utilizada.

Uniformidad de la Distribución del Agua Aplicada.

Esta fue evaluada para los patrones de distribución mediante los coeficientes de uniformidad de Christiansen (UCC), y Hart (UCH) mencionados por García y Briones (1986), bajo la asunción de que la uniformidad de riego paralelo a la tubería de aspersión es aceptable y de manera perpendicular a la misma no lo es (en dirección al gradiente de riego, Hanks et al., 1976]; en los Cuadros 15, 16 y 17 se proporciona los coeficientes UCC y UCH entre líneas de pluviómetros - homólogos a ambos lados de la tubería; cabe aclarar que en este caso la designación que en dichos cuadros dentro de la columna [líneas homólogas] no corresponde a los niveles de riego probados en este estudio, sino que a las hileras de pluviómetros paralelas a la regante y conforme el número avanza, por ejemplo de 1A a 4A, significa que la hilera de botes 1A está a una distancia más cercana a la línea de aspersión, y por lo tanto, recibe más cantidad de agua que la hilera 4A, la cual está más alejada. Como se puede observar en los cuadros mencionados no hay igualdad de datos en número de hileras homólogas; esto es debido a que las hileras faltantes captaron cero cantidad de agua y la reducción de dichos números de hileras, a que el alcance del radio de mojado por los aspersores fue diferente para cada patrón de distribución del agua a tratar, tal como se puede ver en la Figura 17. Los UCC y UCH por cada sublote experimental son reportados también.

CUADRO 15. Coeficiente de uniformidad de riego para el patrón "perpendicular" de distribución del agua.

LINEAS HOMOLOGAS	DATOS DE AGUA COLECTADA $\text{cm}^3(\text{ml})$	UCC (%)	UCH (%)
1A, 1B	55, 60, 60, 60, 60, 67, 50, 60, 53, 58, 57, 46, 51, 46, 56, 57	92.19	91.95
2A, 2B	52, 60, 57, 36, 52, 49, 55, 55, 60, 55, 60, 50, 50, 55, 60, 57	91.98	91.01
3A, 3B	50, 57, 49, 40, 56, 44, 47, 50, 50, 60, 50, 50, 60, 40, 54, 54	90.91	90.41
4A, 4B	35, 28, 33, 26, 25, 35, 30, 32, 50, 50, 45, 45, 50, 42, 50, 44	78.10	81.03
Lado (A)	Todos los datos de (A)	59.34	62.00
Lado (B)	Todos los datos de (B)	69.00	70.00

CUADRO 16. Coeficientes de uniformidad de riego para el patrón "diagonal" de distribución del agua.

LINEAS HOMOLOGAS	DATOS DE AGUA COLECTADA $\text{cm}^3(\text{ml})$	UCC (%)	UCH (%)
1A, 1B	50, 59, 50, 45, 45, 50, 43, 42, 50, 45	91.86	91.67
2A, 2B	45, 45, 42, 43, 40, 42, 52, 50, 43, 42, 50, 50	92.40	92.82
3A, 3B	50, 60, 52, 45, 51, 50, 43, 51, 42, 45, 45, 50	92.01	91.83
4A, 4B	42, 45, 40, 39, 40, 38, 50, 53, 49, 50, 47	89.82	90.62
5A, 5B	40, 42, 39, 40, 40, 40, 24, 28, 20, 19, 23, 28	74.15	77.45
6A, 6B	15, 16, 11, 12, 18, 18, 18, 20, 25, 21, 23, 27	79.76	79.18
7A, 7B	7, 8, 8, 7, 7, 8, 11, 5, 8, 10, 7, 9	86.15	84.28
Lado (A)	Todos los datos de (A)	63.67	55.32
Lado (B)	Todos los datos de (B)	56.00	62.00

CUADRO 17. Coeficientes de uniformidad de riego para el patrón "en calma" de distribución del agua.

LÍNEAS HOMOLOGAS	DATOS DE AGUA COLECTADA cm ³ (ml)	UCC (%)	UCH (%)
1A, 1B	40, 38, 33, 33, 37, 39, 37, 33, 36, 32, 32, 36, 35, 32	93.31	93.77
2A, 2B	30, 50, 35, 35, 30, 39, 32, 35, 36, 29, 35, 32, 35, 25	88.76	86.47
3A, 3B	32, 31, 33, 26, 25, 30, 32, 30, 38, 23, 36, 32, 22, 25	36.88	97.98
4A, 4B	25, 22, 25, 20, 16, 22, 23, 23, 22, 22, 23, 20, 25	92.31	91.07
5A, 5B	10, 10, 7, 8, 7, 5, 4, 10, 10, 10, 15, 10, 15, 16	73.85	70.66
Lado (A)	Todos los datos de (A)	64.73	65.08
Lado (B)	Todos los datos de (B)	70.28	72.35

Cada dato de los Cuadros 15, 16 y 17 representa un bote o denominado algunas veces "pluviómetro", con un área de captación de 53.197 cm² colocados en cuadrícula geométrica en la parcela útil del lote experimental, el tiempo de duración del ensayo para los patrones perpendicular, diagonal y en calma son: 0.471, 0.3667 y 0.32 horas, respectivamente. Con la información anterior, a continuación en el Cuadro 18 se proporciona el volumen promedio de agua captado (\bar{V}), la lámina promedio aplicada (\bar{L}) y la tasa de aplicación de agua (cm/h) para las líneas homólogas de pluviómetros para los diversos patrones probados.

CUADRO 18. Volumen, láminas y tasas de aplicación del agua para los diversos patrones de distribución del agua.

LADO A				LADO B			
LÍNEA DE BOTES	V (ml)	L (cm)	TASA APLIC. (cm/h)	LÍNEA DE BOTES	V (ml)	L (cm)	TASA APLIC. (cm/h)
PATRON "PERPENDICULAR"				PATRON "PERPENDICULAR"			
1	53.00	0.996	2.12	1	59.00	1.11	2.35
2	52.00	0.977	2.07	2	55.88	1.05	2.23
3	49.12	0.923	1.96	3	52.25	0.98	2.08
4	30.50	0.573	1.22	4	47.00	0.88	1.87
PATRON "DIAGONAL"				PATRON "DIAGONAL"			
1	49.80	0.94	2.56	1	46.00	0.86	2.35
2	47.80	0.90	2.45	2	42.80	0.81	2.21
3	51.30	0.96	2.62	3	46.00	0.86	2.35
4	49.80	0.94	2.56	4	40.60	0.76	2.07
5	40.20	0.76	2.07	5	23.67	0.44	2.0
6	22.30	0.42	1.15	6	15.00	0.28	0.76
7	7.50	0.14	0.38	7	8.33	0.16	0.44
PATRON "EN CALMA"				PATRON "EN CALMA"			
1	36.71	2.75	2.16	1	33.71	0.63	1.97
2	35.86	7.01	2.09	2	32.43	0.61	1.91
3	29.86	3.13	1.75	3	29.43	0.55	1.72
4	22.57	0.42	1.31	4	21.67	0.41	1.28
5	7.29	0.14	0.44	5	12.29	0.23	0.72

Gradientes de Humedad Inducidos.

La humedad del agua en el suelo fue monitoreada después de cada riego para observar de qué manera los gradientes sistemáticos de lámina aplicada eran distribuidos; en las Figuras 18 a la 24 se muestra el resultado de dichos muestreos, en los que se puede notar que durante los riegos 1 y 2 en el sub lote (A) sí es apreciable un gradiente de humedad inducido por los gradientes del agua aplicada, mientras que en el sub lote (B) es despreciable debido a lo siguiente: excesos de agua que el viento derivaba de (A) a (B), además, las aportaciones continuas de lluvia a través de todo el ciclo del cultivo, tendieron a blanquear los tratamientos para ambos lados después del tercer riego, como se puede observar en las Figuras 20 y 21, las precipitaciones pluviales considerables dentro del proceso del ciclo del cultivo ocurrieron entre floración y llenado de vaina (uña). todo esto ocasionó además, un trabajo de cultivación intenso, mecánica y manualmente para recuperar la apariencia normal del cultivo (de amarillenta a verde).

Además de las cultivadas intensas, se castigó al cultivo antes de dar el último riego, el cual estaba terminando el llenado de vainas y el riego no fue aplicado hasta que se consumiera el 60 por ciento de la humedad aprovechable. En la Figura 20 la humedad que se había uniformizado debido a las precipitaciones ya había consumido el 60 por ciento considerado en la capa de control radicular de 0 - 60 cm, indicando el momento del riego.

En las Figuras 22 y 23 se observa que el gradiente de humedad inducido por el gradiente de láminas aplicado, en el último riego es recuperado, estando en la etapa de llenado de grano en vainas hasta madurez fisiológica; con la finalidad de evitar más aplicaciones de agua por lluvia pronosticada, la parcela útil del lote experimental fue cubierta con plástico cada vez que se presentara la amenaza de lluvia.

Finalmente, en la Figura 24 son presentadas las condiciones de humedad bajo las cuales se inició la cosecha de tratamientos, las que fueron de cero por ciento de humedad aprovechable para la capa de 0-30 cm y 20-30 por ciento para la capa de 30-60 cm.

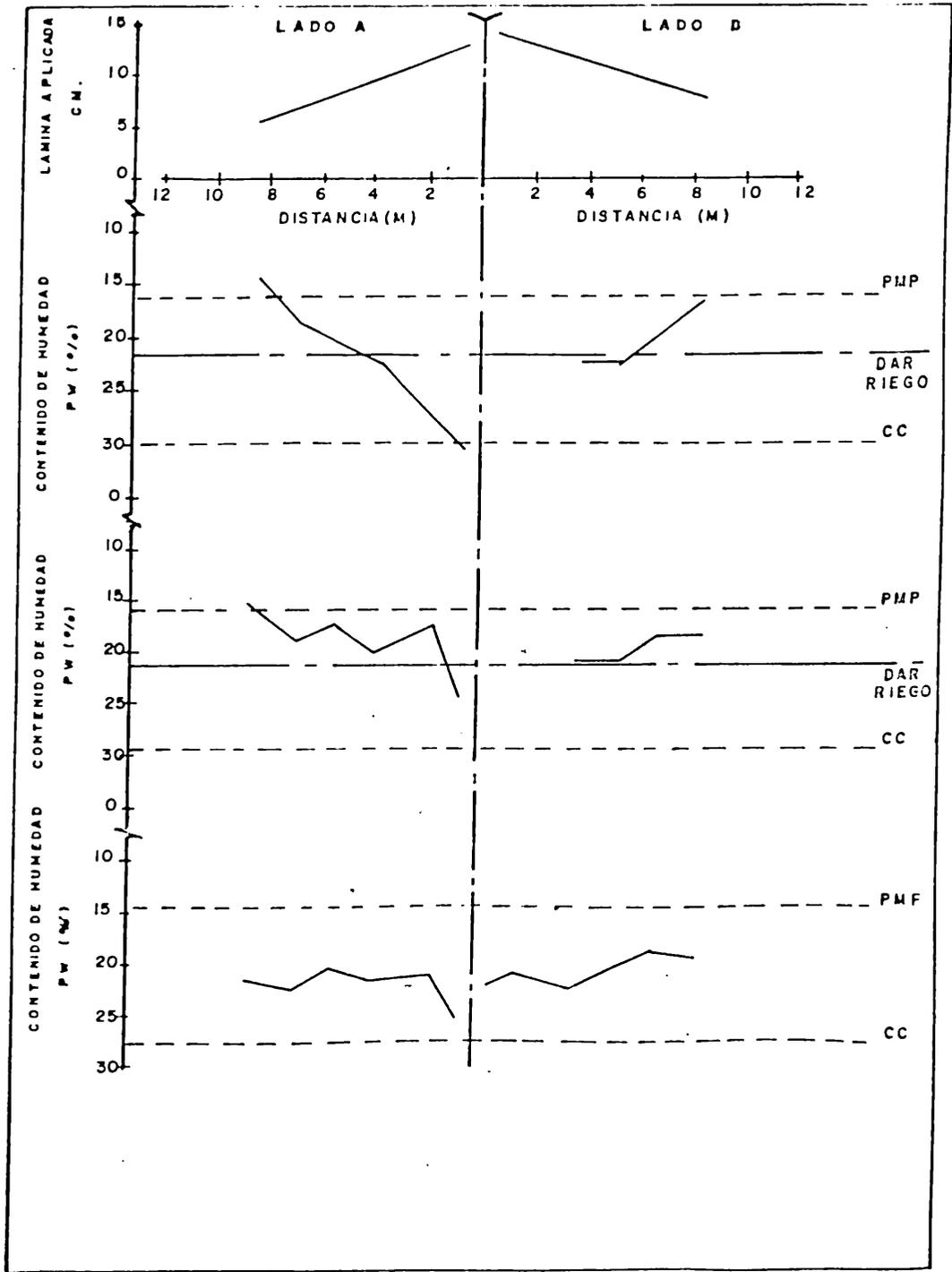


Figura 18. Gradientes de humedad inducidos a 7 días después del riego N° 1.

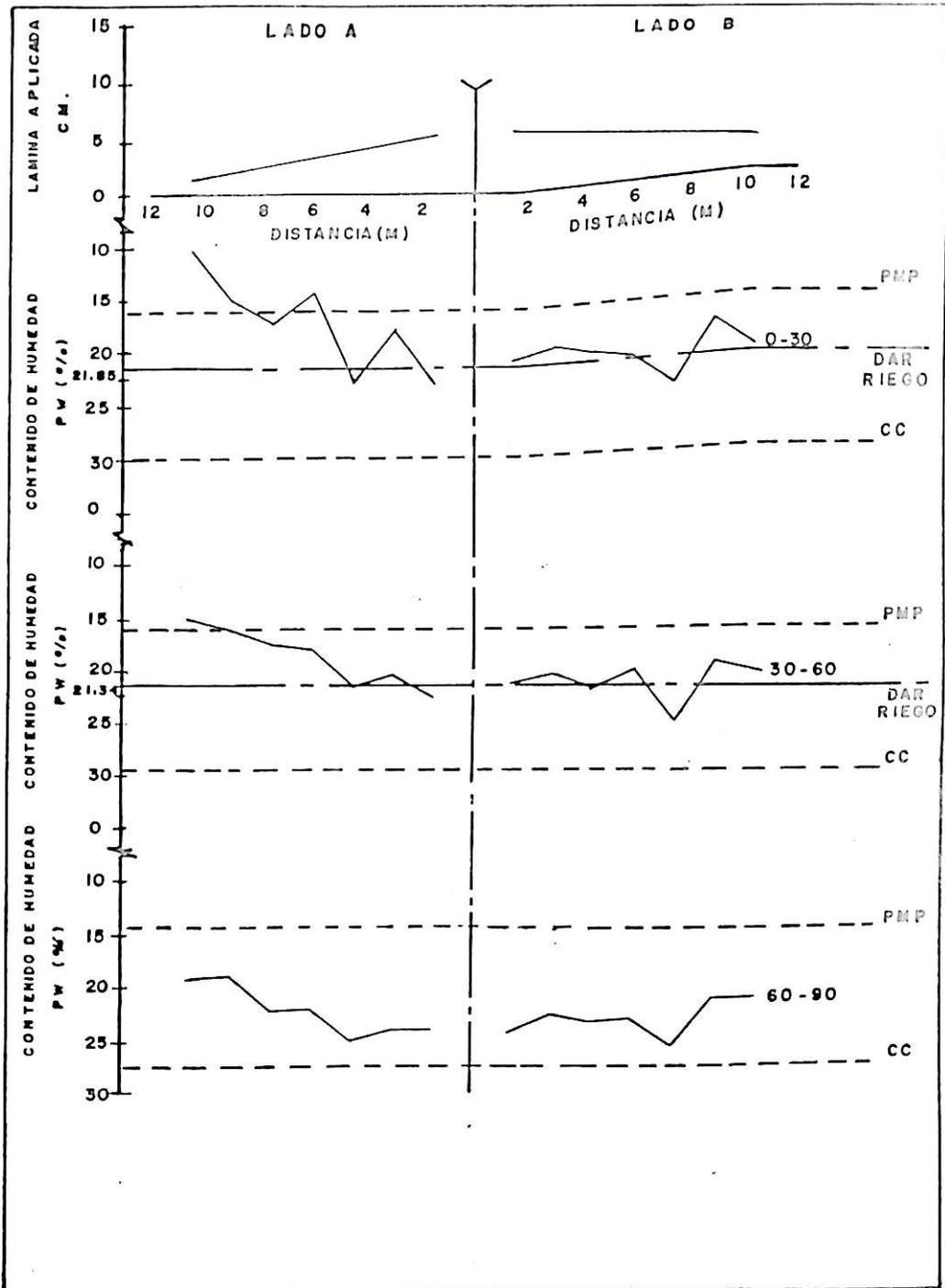


Figura 19. Gradientes de humedad inducidos 5 días después del riego N° 2.

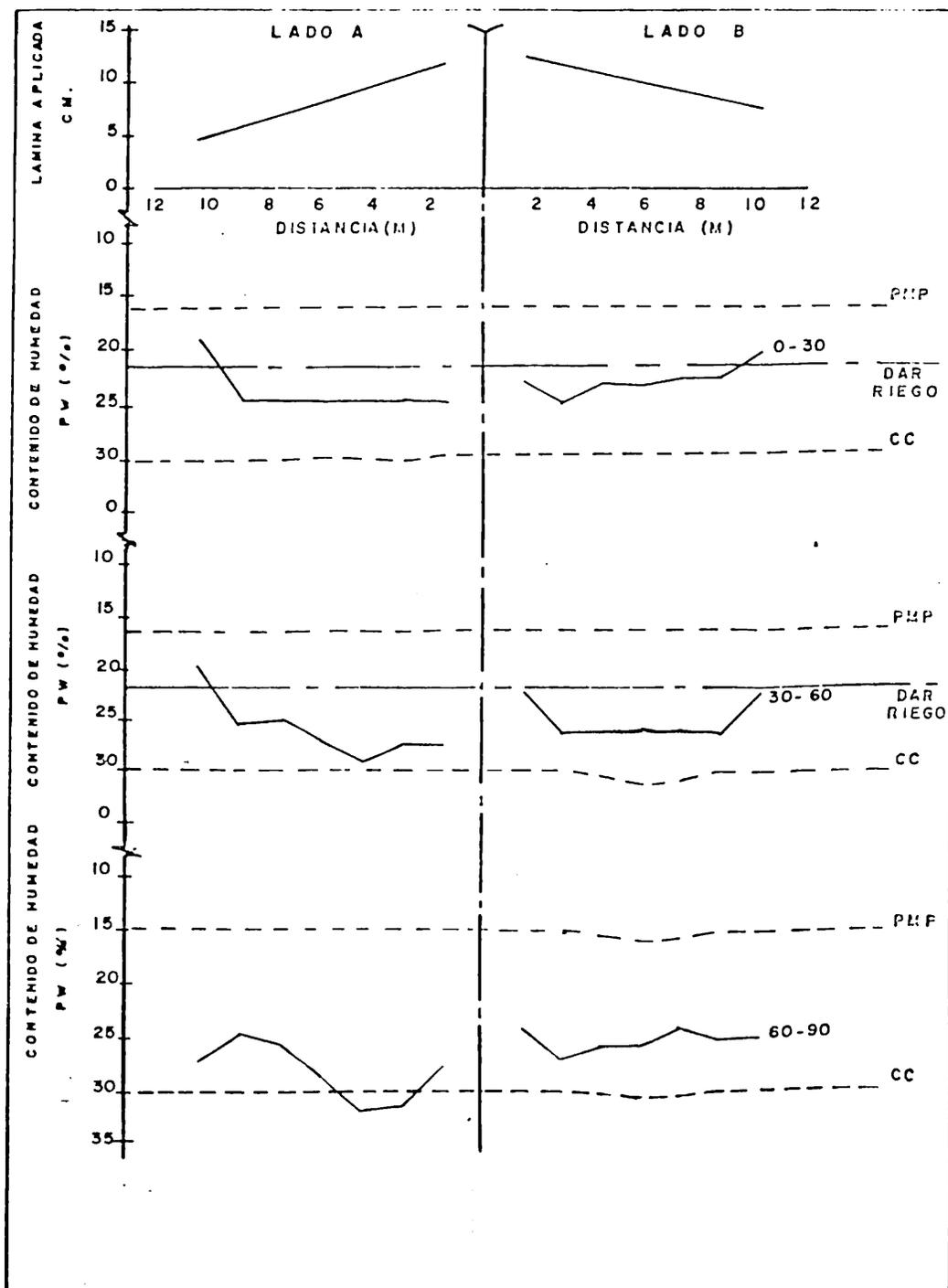


Figura 20. Gradientes de humedad inducidos 9 días después del riego N° 3.

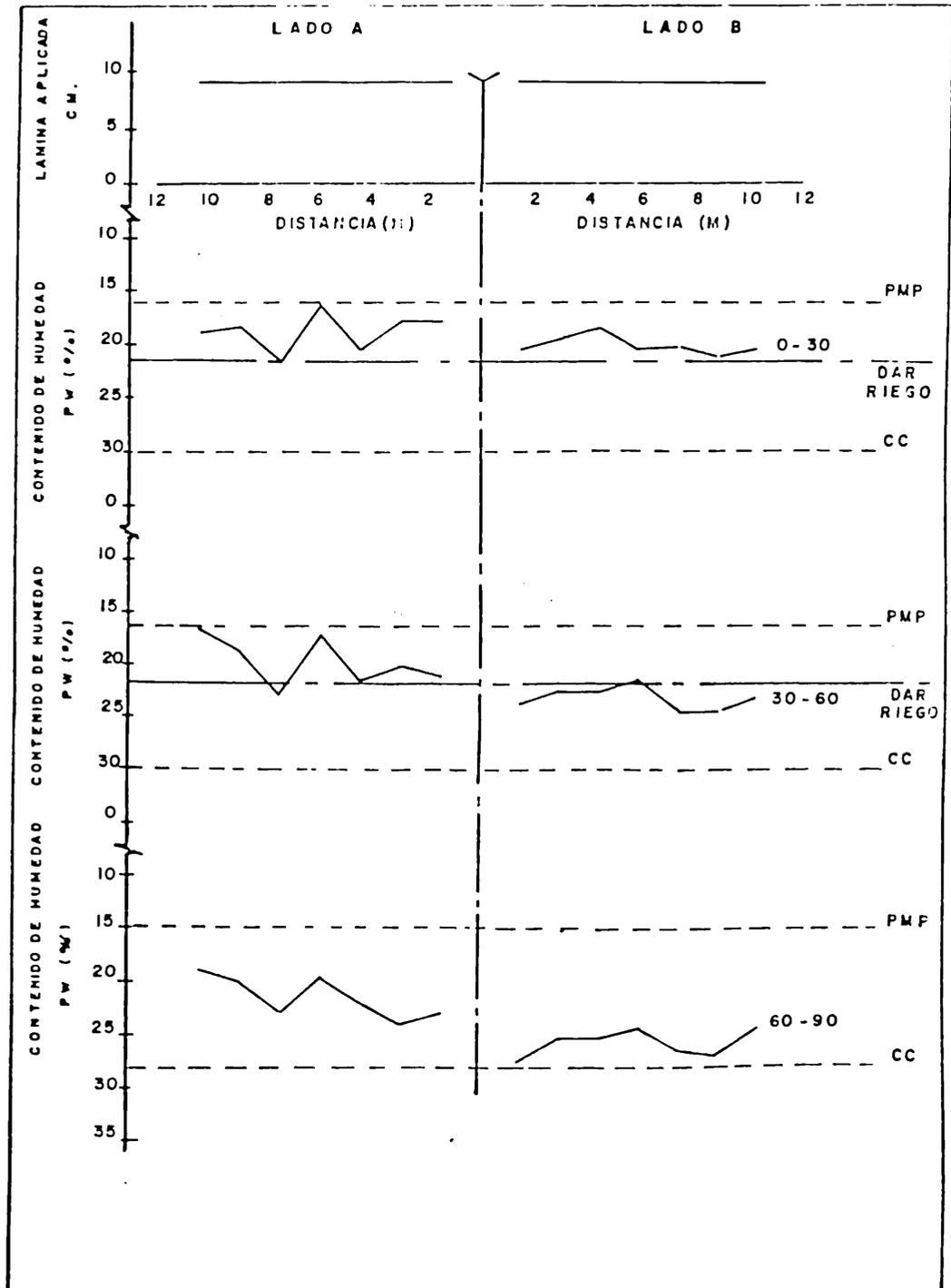


Figura 21. Condiciones de humedad a 45 días del ciclo del frijol con 91 mm de precipitación pluvial.

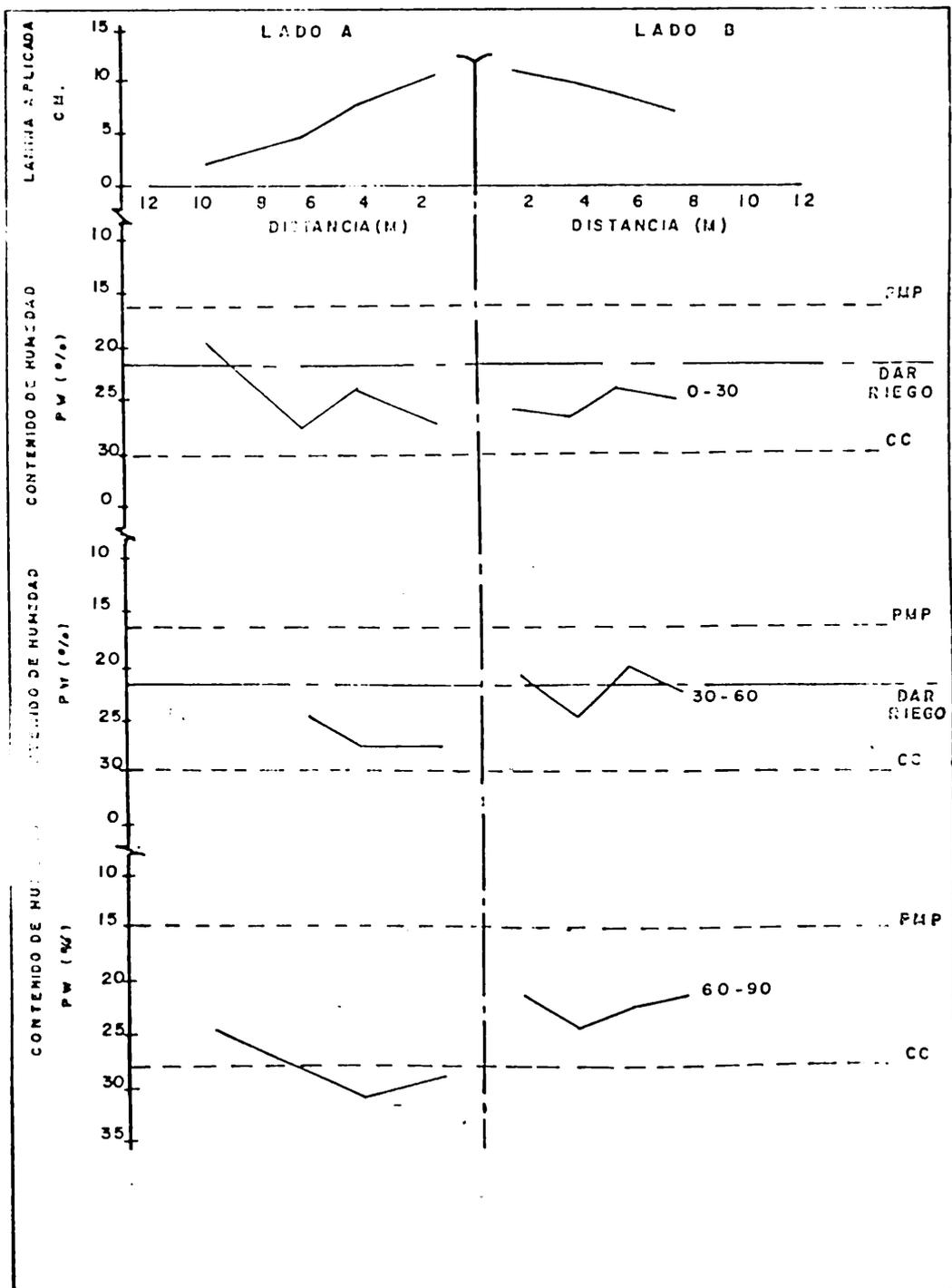


Figura 22. Gradientes de humedad inducidos 2 días después del riego N° 4.

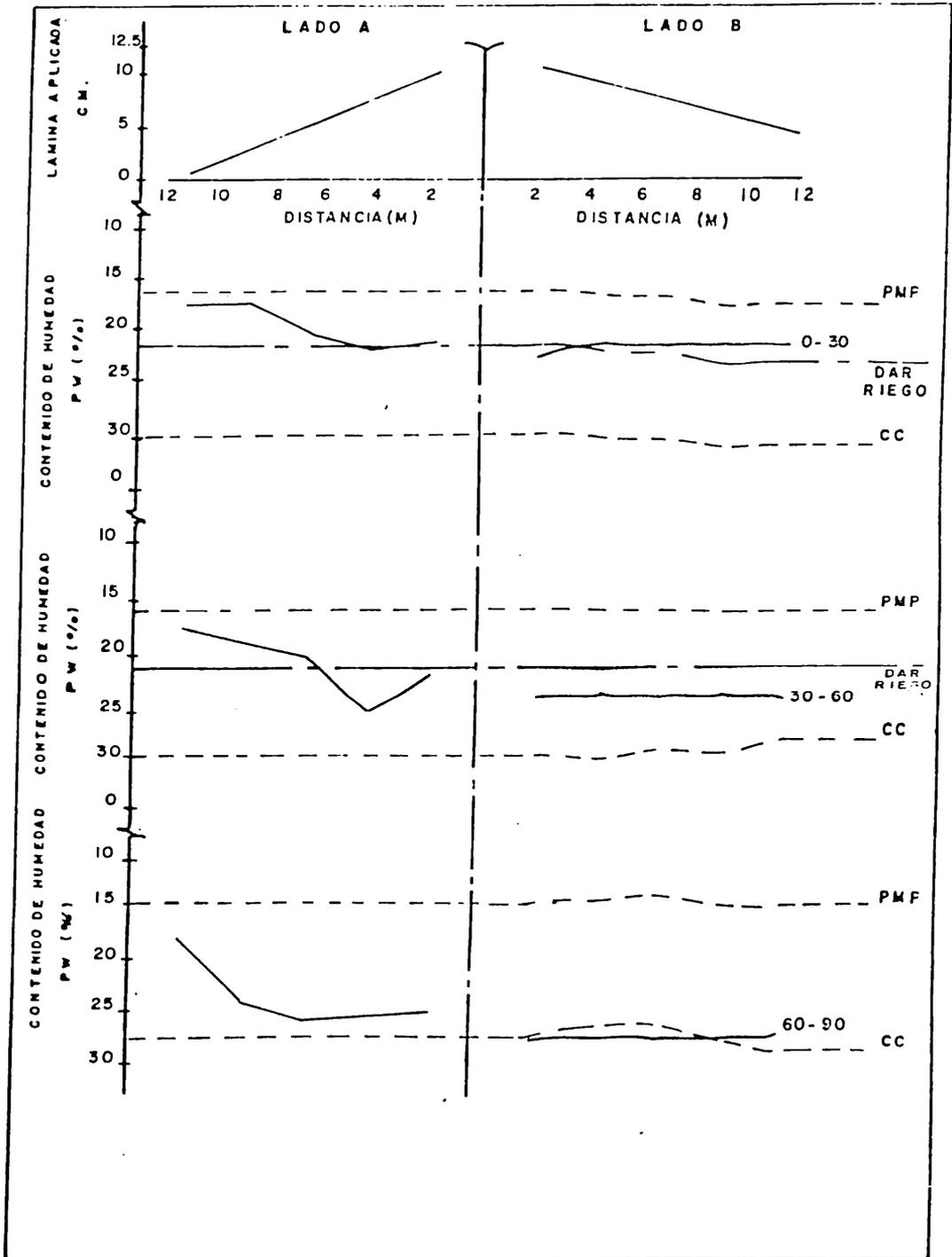


Figura 23. Gradientes de humedad 7 días después del riego N° 4.

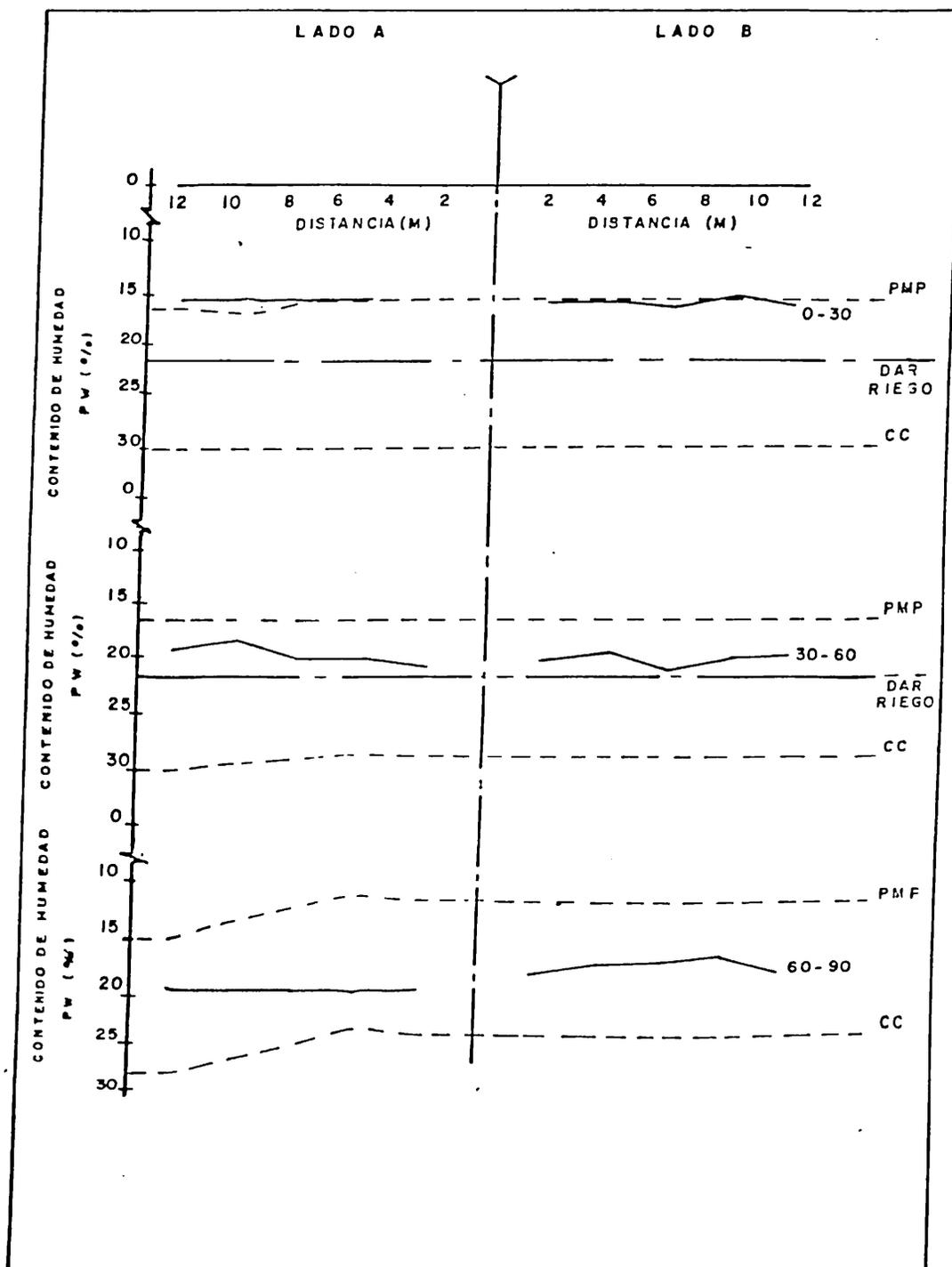


Figura 24. Condiciones de humedad a 26 días del riego N° 4 e inicio de cosecha en tratamientos secos.

CONCLUSIONES

La línea de aspersión propuesta en el presente trabajo, similar a la diseñada y ampliamente utilizada por Hanks et al. en 1976, fue operada a condiciones de velocidad de viento mayores que las recomendadas; la mejor evaluación de la respuesta del cultivo fue bajo 6 niveles de riego. Para los demás niveles de riego probados, se encontró que se subestiman o sobreestiman los rendimientos; además el tamaño mínimo de muestra resultó ser de seis de acuerdo a un cálculo iterativo.

Durante la irrigación, el patrón de distribución del agua fue afectado en el sublote experimental (A) en todos los riegos, beneficiándose por consecuencia el (B); dicho patrón de distribución bajo condiciones de viento "en calma" no fue el triangular sino el parabólico, razón por la cual el ajuste cuadrático de los gradientes de lámina aplicada contra distancia perpendicular a la regante fue el mejor, aunque el lineal fue significativo y aceptable estadísticamente, este fue adoptado para las estimaciones de láminas en los niveles probados, con una confiabilidad de 95 por ciento lado (A) y 99 por ciento lado (B) con un $r^2 = 0.83$ y 0.94, respectivamente.

Para la variable de respuesta en rendimiento de grano (ton/ha), se obtuvo una relación de tipo cuadrático con

la-lámina total aplicada, pero tal respuesta varió significativamente entre sublotes.

Bajo el mismo gradiente de aspersión, el muestreo basado en 11, 6, 4 ó 3 niveles de riego proporcionó medias muestrales proporcionales y representativas de la población.

No hubo diferencia significativa para las variables: N° de ejotes/planta, gramos/planta y peso de 100 granos, aunque en términos generales se obtuvo una relación más o menos aceptable (en r^2 , E. std. y CV) de tipo cuadrático contra la lámina total aplicada, en las muestras de transectos perpendiculares en todos los tratamientos; de todo lo anterior se concluye que ambas variables tendieron a proporcionar la misma respuesta que la variable rendimiento en grano.

La variable densidad de población (N° de plantas/m) fue tomada como un indicador para la cosecha de muestras para la variable rendimiento en grano (ton/ha), o sea, como significado práctico debido a que hubo una reducción de la población para cosechar. Todo esto definió que el área de cosecha unitaria resultó ser la adecuada en este caso.

El gradiente de lámina aplicada en los riegos no fue el mismo para ambos lados de la regante, fue más crítico para el lado (A), por consecuencia, los gradientes de humedad inducidos fueron similares a los irrigados, mas sin embargo, con todo y esto la mejor respuesta del rendimiento en grano fue a 6 niveles de riego para ambos sublotes experimentales simétricos. No se deberían estudiar menos de 4 niveles de

riego porque se corre el riesgo de sesgar la verdadera tendencia de la función de producción.

El gradiente de humedad inducido sistemáticamente por la línea de aspersión produjo respuestas en el cultivo estrechamente asociadas a los niveles de humedad. Este gradiente se perdió durante el tercer riego entre floración y llenado de vaina (uña), generándose durante todos los demás riegos y durante todo el ciclo del cultivo; él mismo observó mejor comportamiento en el sublote (A), y la respuesta del rendimiento fue altamente significativa y aceptable de los modelos de regresión para los niveles de riego 6, 4 y 3 de (B), lo que indica la existencia del mismo, el cual no se alcanzó a sensibilizar en la frontera de humedad explorada.

En relación a la homogeneidad de la lámina y tasa de aplicación del agua en las hileras del cultivo, paralelas a la tubería regante, ésta sí fue proporcionada con una uniformidad alta, obteniéndose coeficientes UCC y UCH mayores del 90 por ciento entre las hileras 1 a 6 cercanas a la regante por ambos lados, entre 80 y 90 por ciento entre las hileras 7 a 10, menor de 80 por ciento, pero mayor que 65 ó 70 por ciento para las hileras de cultivo más alejadas de la tubería; como se puede observar, la uniformidad decrece perpendicularmente a la regante. En términos generales, tratando a cada sublote como una área irrigada con aspersión, la uniformidad del riego es de aproximadamente 60 y 70 por ciento para (A) y (B), respectivamente bajo condiciones del patrón "perpendicular" descrito en este trabajo.

RECOMENDACIONES

Para la conducción de experimentos utilizando este sistema de riego, cuyas características sean igual o semejantes (6.1 m espaciamiento entre aspersores, radio mojado aproximadamente 13 m y gasto por aspersor entre 0.5 y 0.8 l/seg se recomienda explorar 6 niveles de riego o bien, de humedad aprovechable.

Para la aplicación de los riegos mediante este sistema, se recomienda considerar las indicaciones proporcionadas a través de la Revisión de Literatura, de irrigar bajo condiciones adecuadas de viento que son: velocidad ≤ 3 km/hr perpendicular a la regante y ≤ 8 km/hr en paralelo o diagonal a la misma; aunque en el presente estudio se rebasó la restricción perpendicular hasta 4.32 km/hr, lo cual da un margen para tomar un criterio si el momento de riego es decisivo; no se recomienda rebasar el límite de velocidad de 4.32 km/hr porque se corre el riesgo de reducir los niveles de riego y un aumento o disminución de los mismos se cae en la subestimación o sobreestimación de datos.

En caso de modificar la línea fuente de aspersión (espaciamiento entre aspersores, radio de mojado) se recomienda utilizar la metodología estadística del presente trabajo para determinar los niveles de riego a explorar. Tam-

bién se debe manejar el gradiente de aspersion en análisis y regresiones que no sesguen su forma.

En los experimentos donde la siembra se deba realizar en húmedo, se puede dar un riego de establecimiento - traslapando la regante.

Se recomienda hacer bordos de tierra perpendiculares a la regante en ambos lados (4) para delimitar y evitar - aportaciones por escurrimientos a la parcela útil, que en este caso fue de 24X30 m; al momento de cosechar se recomienda también despreciar una o dos hileras de cultivo próximas a la regante y dos o tres de las últimas más alejadas de la misma. Para este caso se asignó que cada dos hileras de cultivo constituyeran un nivel de riego para 6 niveles - explorados; en caso de hileras de cultivos perpendiculares a la regante se sugiere hacer la conversión geométrica de los niveles de riego recomendados.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se desarrolló en el - Campo Agrícola Experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA) del INIFAP-SARH, ubicado en el Municipio de Gómez Palacio, Durango, cuyas coordenadas geográficas - son 25°30' de latitud norte y 103°32' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, con una altura de 1 130 metros sobre el nivel del mar.

La finalidad del presente trabajo de investigación fue determinar los niveles de riego adecuados para la conducción de experimentos utilizando una línea regante de aspersión como fuente de riego, el cultivo experimentado como evaluador de la respuesta a los diversos niveles probados fue el frijol (Phaseolus vulgaris L.), variedad Pinto Laguna 80; los niveles de riego se lograron seleccionando el gradiente de láminas de agua aplicadas proporcionado por la línea de aspersión; no se consideraron etapas fenológicas - del cultivo. Para aplicar los riegos se consideró primeramente que entre la segunda y tercer hilera del cultivo próximas a la regante se consumiera un 60 por ciento de la humedad aprovechable en la capa de suelo a 60 cm, la otra consideración es irrigar bajo condiciones en calma de la magnitud y dirección de la velocidad del viento, que en el pre-

sente trabajo se rebasó en un 44 por ciento la magnitud recomendada en la literatura en dirección perpendicular a la línea de riego, el agua irrigada más las aportaciones de lluvia fueron contabilizados para reunir el agua requerida para llevar el suelo hasta capacidad de campo.

Cuatro métodos de evaluación fueron seleccionados con 11, 6, 4 y 3 niveles de riego para cada lado de la tubería, repitiéndose del otro lado; las condiciones de velocidad del viento durante los riegos en todo el ciclo del cultivo hizo que los tratamientos de un lado de la regante no se esperara respuesta significativa estadísticamente entre tratamientos de la variable principal, pero en la etapa de análisis de regresión de las funciones de producción, para el tratamiento de 6 niveles de riego, la respuesta fue significativa estadísticamente al 95 por ciento de confianza, con $r^2 = 0.88$, CV = 18 por ciento, Est. error Std. = 0.113; para el otro lado de la regante (B) se obtuvo respuesta para 6, 4 y 3 niveles con estadísticos mucho más aceptables y significativos que el lado (A); es importante aclarar que el modelo de regresión para 4 niveles del lado (A), aunque estadísticamente fue no significativo, pero la función explicó en un 69 por ciento la variación observada en los rendimientos de grano con un CV = 15.40 por ciento y un error STD = 0.177, fue considerado para el análisis de datos de las funciones de producción y a la vez determinar si la no significancia estadística fue debido a una sub o sobre estimación de datos.

- Mediante el análisis de datos estimados por los mode los de regresión contra los datos medidos, el mejor resultado fue para 6 niveles de riego en ambos lados de la regante, los cuales garantizaron que la estimación de rendimientos - fue de un 97.5 por ciento de aceptación con las observaciones reales, las funciones de producción para los 4 niveles de riego a ambos lados subestima uno y sobreestima el otro los rendimientos; para 3 niveles éste los subestima al mismo grado de confiabilidad mediante ensayo de hipótesis t - student, la función de producción de 4N 3A estadísticamente no fue significativa, pero al considerarse tendió a subestimar los datos de rendimiento.

Como información general de los niveles de riego ade cuado (seis), al optimizar sus respectivas funciones de producción se obtiene para el sublot.e (A) donde el viento distorsionó más los gradientes de agua aplicada un rendimiento de grano 65 por ciento menor (1.36 ton/ha, 377.5 mm de agua) contra 2.08 ton/ha con 490.1 mm de agua aplicada.

LITERATURA CITADA

- Cantú H., V. (Sin fecha). Introducción a la estadística. Departamento de Estadística y Cálculo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. p. 149-156.
- Chew, V. 1976. Comparing Treatment Means: a compendium. Hort. Sci., Vol. II (4), August 1976: 348-356.
- Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by Sprinkler. Bulletin 670. October 1942. University of California, College of Agriculture. Berkley, California. U.S.A. p. 95-103.
- De la Peña, I. (S/F). Salinidad de los suelos agrícolas, su origen-clasificación, prevención y recuperación. Boletín Técnico N° 10. Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos, México. p. 16-20.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos, Editorial LIMUSA, México. 172 p.
- Gardner, B.R.; B.L. Blad; D.P. Garrity, and D.G. Watts, 1981. Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. Irrig. Sci. 1981. Vol. 2: 213-224.
- García C., I. y G. Briones S. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo. Universidad Aut. Agraria Antonio Narro, División Ing. Depto. de Riego y Drenaje. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. p. 113.
- Gaytán M., A. 1988. Parcelas de validación del cultivo de frijol adaptado a calendarios de riego del algodónero. Avances de investigación forestal y agropecuaria CIAN 88. Vol. 13, febrero 1988. SARH-INIFAP. México. p.-71
- Hanks, R.J. and V.P. Rasmussen. 1978. Spring Wheat Yield Model for Limited Moisture Conditions. Agron. Journ. 1978, 70: 940-943.
- Hanks, R.J.; J. Keller; V.P. Rasmussen and G.D. Wilson. 1976. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies, Soil Sci. Am. 1976. Vol. 40: 426-429.

- Hanks, R.J.; D.V. Sisson; R.L. Hurst and K.G. Hubbard. 1980. Statistical Analysis of results from irrigation experiments using the line source sprinkler system. Soil Sci. Am. J. Vol. 44, 1980: 886-888.
- Hanks, R.J.; J.P. Riley; W.O. Pruitt; P.E. Martin; R.M. Hagan; R.E. Danielson; E.B. Jackson. (Sin fecha). Predicting Crop Production as Related to Drought stress under Irrigation. Utah Agriculture Experiment Station Research. Report 65. 252 p.
- Hillel, D., and V. Guron. 1973. Relation between evapotranspiration rate and maize yield. Water Resources. Res. 9: 743-749.
- Infante G., S. y G.P. Zárate de L. 1984. Métodos Estadísticos, un Enfoque Interdisciplinario. 1a. Ed. Trillas, México. 643 p.
- Murray R., S. 1979. Estadística, Trad. al español en 1970 por Mc Graw-Hill de México. Nueva impresión Serie Schaum's. 357 p.
- Palacios V., E. y A. Martínez G. 1978. Respuesta en el rendimiento de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo. Un enfoque metodológico de investigación. Rama de Riego y Drenaje. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. 149 p.
- Ramírez H., P. 1988. Modelos de producción para trigo en función de la evapotranspiración en tres etapas fenológicas. Tesis M.C., Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Programa de Graduados, Buenavista, Saltillo, Coahuila, Méx. 96 p.
- Reyes C., P. 1985. Diseño de experimentos aplicados. 4a. reimpresión. Editorial Trillas, S.A. de C.V. México, D. F. 348 p.
- Sammis, T.W.; S. Williams; D. Smeal; C.E. Kallsen. 1986. Effect of soil moisture stress on leaf area index. Evapotranspiration and modeled soil evaporation and transpiration. Transactions of ASAE Vol. 29(4): July- August, 1986: 956-961 p.
- Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los E.U.A. 1979. Riego por Aspersión. Manual de Ingeniería de Suelos. Sección 15: Riego N° 6. 5a. reimpresión, febrero 1979. Ed. Diana, México, p. 30-39.
- Specht, J.E.; J.H. Williams, and C.J. Weidenbenner. 1986. Differential responses of soybean genotypes subjected to a seasonal soil water gradient. Crop. Sci. Vol. 26. Sep-Oct. 1986: 922-933 p.
- Sorensen, V.M.; Hanks, R.J. and Carte, R.L. 1980. Effect of several seedbed treatment and irrigation on corn production. Agronomy Journal. 72: 266-270.

- Stewart, J.I.; R.J. Hanks; R.É. Danielson; E.B. Jackson; R.M. Hagan; W.O. Pruitt; W.T. Franklin and J.P. Riley. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Lab. Prog. 151-1. Logan. 81p.
- Vargas A., A. 1987a. Evaluación de siete variedades de frijol en la Comarca Lagunera. Verano 1981. Informe de investigación en frijol y soya. CAELALA 1979-1983. SARH-INIFAP-CIAN. Matamoros, Coahuila, Méx. Oct. 1987. p. 57-60.
- _____ 1987b. Evaluación de 19 líneas avanzadas y variedades de frijol en la Comarca Lagunera. Primavera - 1982. Informe de Investigación en frijol y soya 1979-1983. CAELALA-SARH-INIFAP-CIAN. Matamoros, Coahuila, Méx. Oct. 1987. p. 155-159.
- Vargas A., A. y S. Tovar H. 1987. Validación de 3 variedades de frijol en lotes comerciales bajo el manejo del productor en la Comarca Lagunera. Verano 1982. Informe de investigación frijol y soya 1979-1983. CAELALA-CIAN-INIFAP-SARH. Matamoros, Coahuila, Méx. Oct. 1987. p. 167-195.
- Yamane, T. 1980. Estadística. 3a. Ed. Editorial Harla. Impreso en México por Corporación Editora y Periodística, S.A. 759 p.

A P E N D I C E

CUADRO A1. Datos climatológicos durante el ciclo del frijol.

LATITUD: 25°30'
 LONGITUD: 103°32'
 ALTITUD: 1 130 MSNM
 ESTACION: CENID-RASPA, INIFAP-SARH
 UBICACION: GOMEZ PALACIO, DGO.
 AÑO: 1988

J U N I O

DIA	TEMPERATURA		PRECIP. (mm)	EVAP. (mm)	H.R. (%)	HORAS LUZ	RAD. NETA (Ly/día)	OBSERVACIONES
	Máx. (°C)	Mín						
24	32	17	-	10.75	60.0	9:31	566.08	
25	32	18	-	8.95	61.5	11:00	617.96	
26	30	19	13.0	12.99	63.5	0:00	235.00	
27	31	20	1.0	6.90	68.5	5:49	437.27	
28	29	20	2.0	5.22	77.5	3:28	355.45	
29	32	20	-	8.33	69.5	9:17	558.08	
30	30	20	-	6.12	73.0	9:10	544.44	

CUADRO A1..... Continuación

J U L I O

DIA	TEMPERATURA Máx. (°C) Mín		PRECIP. (mm)	EVAP. (mm)	H.R. (%)	HORAS LUZ	RAD. NETA (Ly/día)	OBSERVACIONES
1	30	19	7.0	11.25	64.0	7:14	478.19	Riego N° 1
2	31	19	-	5.95	69.5	7:45	496.04	
3	31	20	-	4.28	73.5	4:28	383.10	
4	30	20	2.0	3.90	-	4:05	370.05	
5	32	20	-	9.64	54.5	10:45	599.02	
6	32	21	-	7.62	63.0	11:31	625.11	
7	32	20	-	7.95	67.5	9:52	673.60	
8	30	20	-	5.26	62.5	8:10	515.84	Riego N° 2
9	26	19	6.0	1.04	80.0	1:31	281.83	
10	30	18	-	7.35	66.5	7:21	473.68	
11	30	18	2.0	6.01	72.5	11:00	605.76	
12	33	20	-	8.01	66.0	11:24	610.71	Aplic. insect.
13	34	22	-	7.73	54.0	8:49	523.08	
14	33	20	-	6.78	57.5	10:45	588.72	
15	32	20	-	10.36	54.5	11:28	612.74	
16	31	19	-	8.01	63.5	7:35	481.46	
17	32	20	5.0	9.81	60.5	11:56	619.17	Riego N° 3
18	31	21	-	6.84	63.5	11:28	612.74	
19	32	19	-	8.02	65.0	10:24	576.87	
20	32	18	-	9.36	63.5	10:49	596.81	
21	28	20	28.0	13.97	77.5	4:00	363.37	
22	30	18	-	6.25	70.0	5:40	420.27	
23	31	18	-	7.36	73.5	1:17	282.41	Aplic. insect.
24	30	20	-	7.89	72.0	10:00	569.05	
25	31	18	-	6.20	65.0	5:21	409.64	
26	30	19	8.0	6.39	72.0	3:35	348.97	
27	27	18	-	4.55	76.0	2:01	295.15	
28	28	18	-	5.75	66.0	4:10	368.85	
29	27	18	-	6.92	-	8:49	528.25	Aplic. insect.
29	27	18	-	7.24	-	8:14	508.37	
30	29	18	50.0	6.32	-	7:00	468.90	
31	29	18	18.5					

CUADRO A1..... Continuación

A G O S T O

DIA	TEMPERATURA		PRECIP. (mm)	EVAP. (mm)	H.R. (%)	HORAS LUZ	RAD. NETA (Ly/día)	OBSERVACIONES
	Máx.	Mín. (°C)						
1	29.5	19	-	5.44	58.0	8:42	494.26	Floración 80%
2	31	20	3.5	7.86	69.0	9:00	539.51	
3	29	19.5	-	4.55	75.5	5:17	410.03	
4	28	19.5	3.0	3.48	79.0	3:14	338.67	
5	30	19.0	-	6.01	59.0	8:45	530.81	
6	30	19.0	8.0	8.61	59.0	9:07	543.34	
7	31	18.0	-	8.30	67.0	11:55	629.32	
8	32	19.0	-	6.50	67.5	11:21	621.31	Aparición vaina uña (2 a 3 cm)
9	32	19.0	-	7.10	66.5	11:24	623.05	Aplic. insect.
10	32	19.0	-	6.45	67.0	11:17	631.62	
11	33	19.0	-	8.92	64.0	11:47	649.53	
12	31	19.0	-	8.00	68.5	11:17	631.62	
13	32	21.0	-	8.63	53.0	11:24	635.92	
14	32	18.0	-	9.58	75.5	11:00	621.59	
15	31	18.0	-	7.34	67.0	11:17	631.62	
16	31	18.0	-	8.25	70.0	10:42	646.67	
17	30	21.0	-	7.19	73.5	9:49	578.96	Vainas completas
18	31	21.0	-	6.93	75.5	4:21	383.34	Riego N° 4
19	31	22.0	-	5.87	76.0	6:31	472.91	
20	30	19.0	-	4.80	74.0	-	-	
21	30	18.0	-	5.60	75.0	9:31	554.95	
22	30	19.0	-	4.80	75.0	6:52	461.42	
23	31	18.0	1.0	6.10	73.5	6:35	451.61	
24	31	18.0	-	6.14	71.0	10:28	538.19	
25	31	19.0	-	7.56	63.0	11:07	611.07	
26	32	19.0	-	6.80	56.0	10:56	604.73	Aplic. insect.
27	33	21.0	-	7.88	65.5	10:24	586.08	
28	32	21.0	-	7.50	67.0	10:38	594.17	
29	31	19.0	-	7.25	69.0	8:21	513.92	
30	30	17.0	-	7.05	56.5	9:31	554.75	
31	31	17.0	-	6.79	57.0	10:42	582.21	

CUADRO A1..... Continuación

S E P T I E M B R E

DIA	TEMPERATURA		PRECIP. (mm)	EVAP. (mm)	H.R. (%)	HORAS LUZ	RAD. NETA (Ly/día)	OBSERVACIONES
	Máx. (°C)	Mín.						
1	31	18	-	7.71	70	10:07	561.82	
2	31	18	-	5.51	56.5	10:35	578.06	
3	30	19	2	7.26	58.5	9:52	553.19	
4	30	16	1	4.28	76	0:52	292.21	60% seco total
5	26	15	-	4.39	62	9:19	534.18	
6	26	17	-	4.86	52.5	0:21	219.75	
7	29	18	-	9.23	57	3:00	316.15	
8	32	14	-	6.80	54	10:07	561.82	
9	30	15	-	8.45	56.5	10:35	578.06	Inicio cosecha
10	33	11	-	5.53	65	8:52	505.21	
11	31	11	-	9.21	-	9:10	529.00	
12	33	16	-	4.38	41.5	7:38	463.53	
13	33	16	-	7.07	63.5	6:35	427.95	
14	32	16	-	7.95	68	10:10	549.26	
15	31	24	-	5.70	67	10:07	547.57	
16	30	17	-	5.57	69	7:07	445.91	
17	24	19	-	2.40	69.5	0:00	205.00	
18	31	18	-	3.95	70	9:00	509.95	
19	33	18	-	9.02	64	9:21	521.81	
20	33	18	-	8.83	62.5	10:07	547.57	
21	32	18	-	8.01	57	10:17	553.33	
22	33	18	-	7.32	66	7:38	463.53	
23	26	18	Inap	5.60	76	6:52	421.72	
24	30	17	Inap	6.00	68.5	6:42	416.44	
25	30	16	-	4.76	68.5	7:21	437.92	
26	31	14	-	6.79	60	9:14	500.05	
27	31	14	-	5.65	63	9:56	523.19	
28	33	16	-	6.12	59	9:21	504.02	
29	32	17	-	6.08	63.5	6:07	530.96	
30	29	17	-	6.91	66	8:17	451.40	Termina cosecha

CUADRO A2. Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 11N 1A particionado a 7.

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.05	F.10
Regresión	2	0.1428	0.0714	4.22	5.78 NS	3.78 *
Error	5	0.0844	0.0169			
Total	7	0.2272				

CV = 28.20 %

CUADRO A3. Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 11N 1B particionado a 8.

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.05	F.025
Regresión	2	0.1268	0.0634	7.92	5.14	7.26
Error	6	0.0481	0.0080			
Total	8	0.1750				

CV = 11.42 %

CUADRO A4. Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 6N 2A.

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.05
Regresión	2	0.2848	0.1424	11.12	9.55
Error	3	0.0384	0.0128		
Total	5	0.3233			

CV = 16.59 %

CUADRO A5. Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 6N 2B.

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.05
Regresión	2	0.4369	0.2185	13.49	9.55
Error	3	0.0487	0.0162		
Total	5	0.4856			

CV = 12.18 %

CUADRO A6. Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 4N 3A.

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.05	F.10
Regresión	2	0.0696	0.0348	1.10	199.5	49.5
Error	1	0.0316	0.0316			
Total	3	0.1012				

CV = 13.33 %

CUADRO A7. Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 4N 3B.

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.05
Regresión	2	0.73805	0.36903	209.68	199.5
Error	1	0.00176	0.00176		
Total	3	0.73981			

CV = 3.20 %

CUADRO A8. Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 3N 4A.

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.05
Regresión	1	0.0108	0.0108	1.07	161.44
Error	1'	0.0101	0.0101		
Total	2	0.0209			

CV = 7.18 %

CUADRO A9. Análisis de varianza de la función de producción del tratamiento 3N 4B.

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F
Regresión	1	0.1824	0.1824	344.15
Error	1	0.00053	0.00053	
Total	2	0.18293		

CV = 1.95 %

CUADRO A10. Densidad de población promedio en los tratamientos para los niveles en estudio lados A y B.

TRATAM.	SUBLOTE A				SUBLOTE B			
	11N 1A	6N 2A	4N 3A	3N 4A	11N 1B	6N 2B	4N 3B	3N 4B
N° Plantas por metro promedio	8	6	7	7	8	8	7	8

CUADRO A11. Análisis de varianza del ajuste lineal y cuadrático para gradientes de lámina aplicada contra distancia sublote experimental (A).

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.05	TIPO AJUSTE
Regresión	1	408.960	408.960	14.60 *	10.128	Lineal
Error	3	83.979	27.993			
Total	4	492.939				
Regresión	2	489.648	244.824	148.82 *	19.0	Cuadrático
Error	2	3.291	1.645			
Total	4	492.939				

CUADRO A12. Análisis de varianza del ajuste lineal y cuadrático para gradientes de lámina aplicada contra distancia sublote experimental (B).

CAUSAS	G.L.	S.C.	C.M.	F	F.01	TIPO AJUSTE
Regresión	1	475.118	475.118	73.53 *	13.75	Lineal
Error	5	32.307	6.461			
Total	6	507.425				
Regresión	2	507.086	253.543	2991.6 *	18.00	Cuadrático
Error	4	0.339	0.08475			
Total	6	507.425				

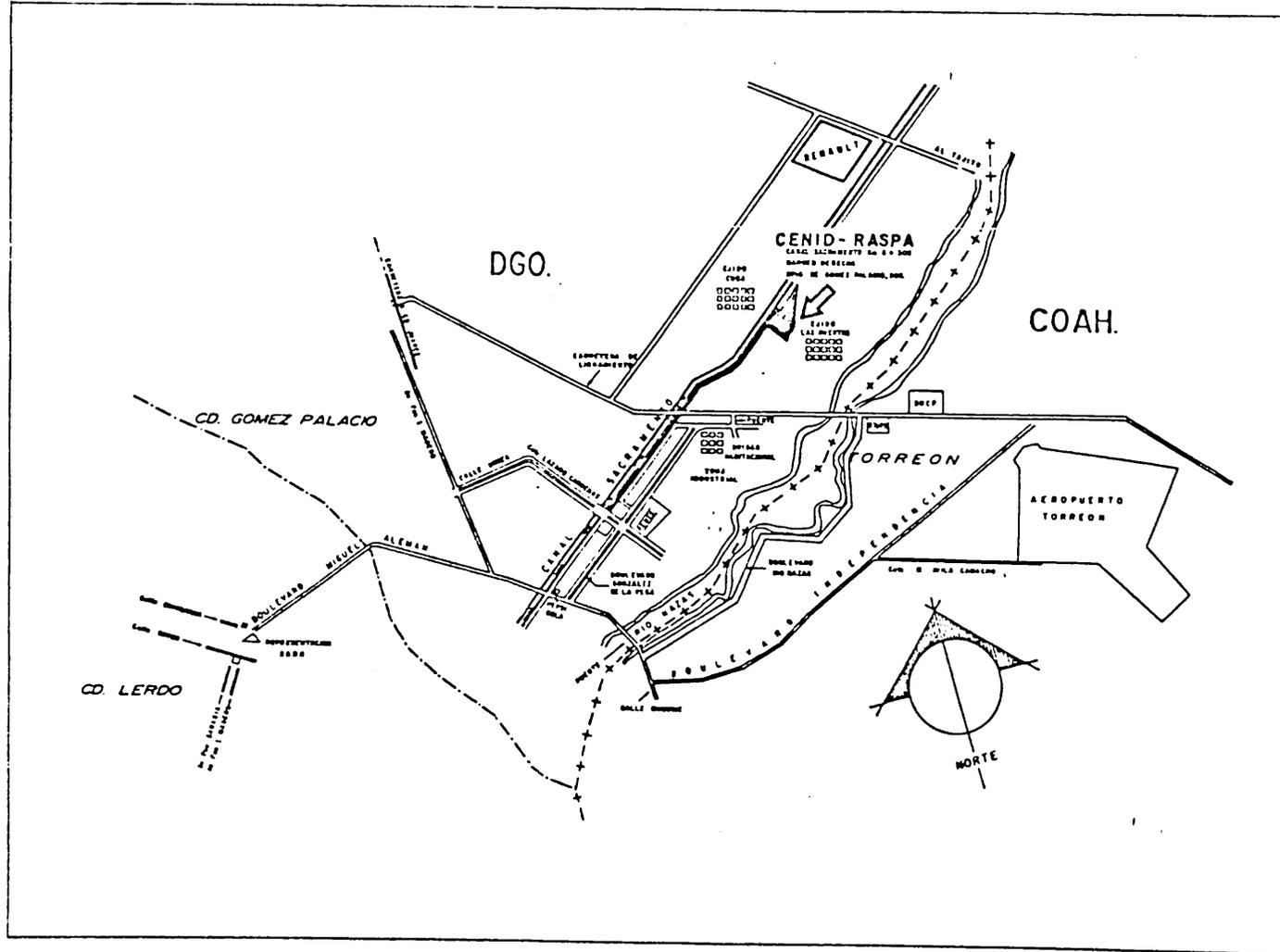


Figura A1. Localización del CENID-RASPA, INIFAP-SARH en la Región Lagunera, Coahuila y Durango.

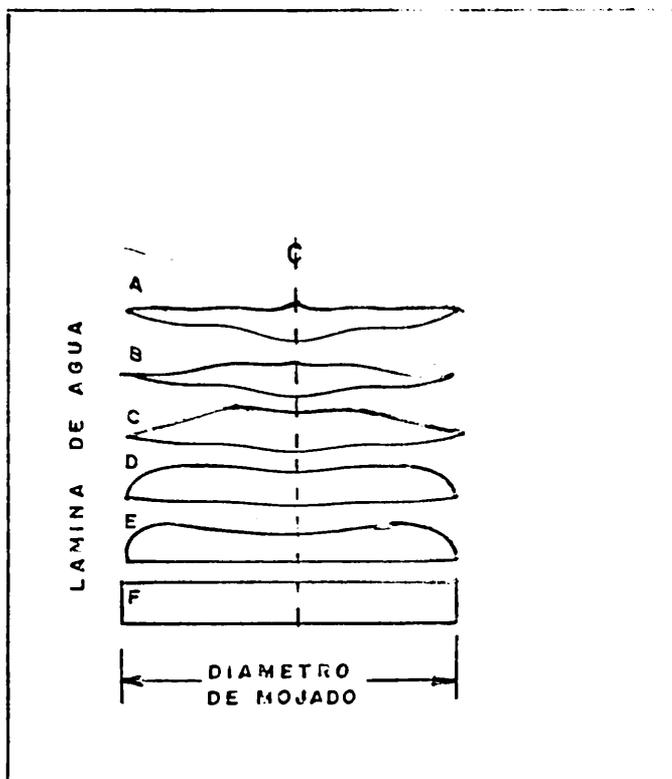


Figura A2. Patrones geométricos de distribución del agua de un solo aspersor bajo condiciones ideales según Christiansen en 1942.