

RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAIZ (Zea Mays, L.)  
A LA APLICACION DE UN ACONDICIONADOR  
SINTETICO DE SUELO A DIFERENTES  
CONTENIDOS DE HUMEDAD

MARIA DE LOURDES FROTO MADARIAGA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN SUELOS



Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

JUNIO DE 1991

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

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN SUELOS

COMITE PARTICULAR

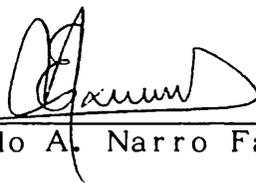
Asesor Principal: \_\_\_\_\_

M.C. Javier S. Silveyra Medina



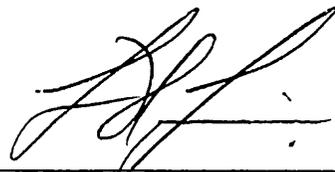
Asesor: \_\_\_\_\_

Dr. Eduardo A. Narro Farias

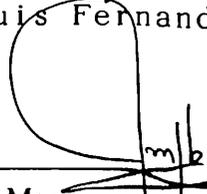


Asesor: \_\_\_\_\_

Dr. Luis Fernando Flores Lui



Dr. José Manuel Fernández Brondo  
Subdirector de Asuntos de Postgrado



Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO DE SOTO"  
UNIDAD SALTILO



BIBLIOTECA

Buanavista, Saltillo, Coahuila, Junio de 1991.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado.

Al Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agropecuaria (INIFAP) especialmente al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA).

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Al Comité de Sinodales:

M.C. Javier S. Silveyra Medina

Dr. Eduardo A. Narro Farias

Dr. Luis Fernando Flores Lui

Al personal de campo del CENID-RASPA especialmente:  
A los señores Tomás Jimenez Leyva, Rosendo de la Cruz, Romualdo Márquez Domínguez, Martimiano Domínguez, Felipe Calderón y Catarino Martínez; así como también al señor Gilberto Rodríguez.

## DEDICATORIAS

A mis Padres: Ricardo y Ma. Concepción, sin cuyo paso por esta vida, el presente trabajo no hubiera existido.

A Chacha y Max: Por el apoyo decidido que me permitió llegar a este momento.

A Ricardo e Irma: Por auxiliarme durante mis años de estudio.

A Germán y Claudia: Por transitar conmigo en esta meta.

A mi hijo Jorge Eduardo: Razón fundamental de mi vida y motivación perenne de superación personal.

Gracias a Dios: Motor inmanente de mi Ser.

COMPENDIO

RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAIZ (Zea mays, L.) A LA  
APLICACION DE UN ACONDICIONADOR SINTETICO DE SUELO A  
DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD

por

MARIA DE LOURDES FROTO MADARIAGA

MAESTRIA

SUELOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNIO 1991

M.C. Javier S. Silveyra Medina - Asesor

Palabras claves: maíz, polímero, poliacrilamida, niveles  
de humedad, concentración, estrés hídri-  
co, evapotranspiración.

El propósito de este trabajo de investigación fue estudiar la respuesta del maíz, variedad B-555 a la aplicación de un polímero (poliacrilamida) en el suelo a diferentes niveles de humedad. El momento del riego se determinó en base al potencial promedio ponderado.

Se evaluaron dos modelos para estimar la evapotranspiración real del cultivo.

Los resultados de este trabajo indican que con un alto nivel de humedad no es necesario la aplicación del polímero pues su efecto se inhibe al no presentarse déficit hídrico en la planta. Conforme baja el nivel de humedad la concentración del polímero requerido es mayor.

ABSTRACT

CORN RESPONSE (Zea mays, L.) TO THE APPLICATION OF A  
SYNTHETIC SOIL CONDITIONER UNDER DIFFERENT  
WATER LEVELS.

BY

MARIA DE LOURDES FROTO MADARIAGA

MASTER OF SCIENCE

SOILS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNE 1991

M.C. Javier S. Silveyra Medina - Adviser

Key words: corn, polymer, polyacrylamide, moisture levels,  
concentration, water stress, evapotranspiration.

The purpose of this research was to study the maize (B-555) response to application of polymer (polyacrylamide) on soil to different moisture levels. The irrigation time was determined according to weighted potential average.

Two models were evaluated to estimate the real evapotranspiration of crop.

The results indicate that a high moisture level on soil is not necessary to obtain this polymer response due its effect is retracted and water stress deficit on plant is not presented. While the moisture level is less the polymer concentration will be greater.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS . . . . .	xii
INDICE DE FIGURAS . . . . .	xiv
INTRODUCCION . . . . .	1
REVISION DE LITERATURA . . . . .	4
ACONDICIONADORES. . . . .	4
ESTABILIDAD DE AGREGADOS. . . . .	6
EFECTOS EN LAS PROPIEDADES HIDRAULICAS..	7
EVIDENCIAS CON CULTIVOS . . . . .	8
EFECTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO SOBRE EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES . . . . .	8
DETERMINACION DEL MOMENTO DEL RIEGO . . .	16
MODELOS PARA EVAPOTRANSPIRACION . . . . .	16
MATERIALES Y METODOS. . . . .	18
LOCALIZACION DEL SITIO EXPERIMENTAL. . .	18
CARACTERISTICAS CLIMATICAS. . . . .	18
PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO . . . . .	18
PARCELA EXPERIMENTAL . . . . .	19
FACTORES Y NIVELES DE ESTUDIO. . . . .	19
FACTORES DE ESTUDIO . . . . .	19
NIVELES DE ESTUDIO . . . . .	21
DISEÑO EXPERIMENTAL . . . . .	21

	Página
TRABAJOS DE CAMPO . . . . .	22
PREPARACION DEL TERRENO. . . . .	22
SIEMBRA Y APLICACION DE TRATAMIENTOS	23
FERTILIZACION . . . . .	23
LABORES DE CULTIVO . . . . .	23
RIEGOS . . . . .	23
CONTROL FITOSANITARIO. . . . .	24
DATOS DE CLIMA . . . . .	25
MEDICION DEL CONSUMO DE AGUA . . .	25
MEDICION DEL AREA FOLIAR . . . . .	25
COSECHA . . . . .	25
RESULTADOS . . . . .	26
DURACION DEL CICLO DE CULTIVO . . . . .	26
RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE . . . . .	26
NUMERO DE RIEGOS Y LAMINAS CONSUMIDAS . . .	28
EVOLUCION DE LA HUMEDAD EN EL SUELO . . . . .	28
ALTURA Y SU SIMULACION . . . . .	31
AREA FOLIAR Y SU RELACION FUNCIONAL . . . . .	40
MODELOS PARA LA ESTIMACION DE LA	
EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO . . . . .	49
EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA . . . . .	54
DISCUSION . . . . .	56
RENDIMIENTO . . . . .	56
ALTURA E INDICE DE AREA FOLIAR . . . . .	56
MODELOS PARA EVAPOTRANSPIRACION . . . . .	58
EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA . . . . .	59

	Página
CONCLUSIONES . . . . .	60
RESUMEN . . . . .	62
LITERATURA CITADA . . . . .	63
APENDICE . . . . .	67

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.1	PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO . . . . .	19
3.2	MODELOS DE REGRESION PARA EL COMPORTAMIE <u>N</u> TO DE LA RETENCION DE HUMEDAD. . . . .	21
3.3	TRATAMIENTOS RESULTANTES. . . . .	22
4.1	RENDIMIEN <u>TOS</u> RESULTANTES DEL EXPERIMENTO (ton/ha). . . . .	27
4.2	ANALISIS DE VARIANZA DEL RENDIMIENTO DE MAIZ	27
4.3	NUMERO DE RIEGOS Y LAMINAS CONSUMIDAS EN CADA TRATAMIENTO . . . . .	28
4.4	RESULTADOS PROMEDIO DE ALTURA DE PLANTA (cm), REGISTRADOS EN CUATRO REPETICIONES EN CADA DIA DE MUESTREO . . . . .	32
4.5	VALORES DE ECUACIONES DE LOS MODELOS AJUS <u>T</u> TADOS DE ALTURA DE PLANTA (cm) CON RESPEC <u>T</u> TO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA . . . . .	34
4.6	VALORES PROMEDIO DEL INDICE DE AREA FOLIAR, REGISTRADOS EN CUATRO REPETICIONES EN CADA DIA DE MUESTREO . . . . .	40

Cuadro	Página
4.7 VALORES DE ECUACIONES DE LOS MODELOS AJUSTADOS DE INDICE DE AREA FOLIAR CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA.	43
4.8 REGRESIONES LINEALES DE LOS MODELOS DE SIMULACION DE LA EVOLUCION DEL CONSUMO DE AGUA . . . . .	52
4.9 EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA RESULTANTE DEL EXPERIMENTO . . . . .	54
4.10 ANALISIS DE VARIANZA DE LA EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA . . . . .	54
A.1 MODELOS AJUSTADOS DE ALTURA DE PLANTA (cm) CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA . . . . .	67
A.2 MODELOS AJUSTADOS DE INDICE DE AREA FOLIAR CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA . . . . .	69
A.3 EVAPORACION (mm) DE TANQUE TIPO "A" REGISTRADA EN LA ESTACION CLIMATOLOGICA DEL CENID-RASPA EN EL CICLO DE CULTIVO . . .	70

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
3.1	CROQUIS DEL EXPERIMENTO Y ALEATORIZACION DE TRATAMIENTOS . . . . .	20
4.1	EVOLUCION DE LA HUMEDAD DEL TRATAMIENTO DEL 75 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE .	29
4.2	EVOLUCION DE LA HUMEDAD DEL TRATAMIENTO DEL 50 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE .	30
4.3	EVOLUCION DE LA HUMEDAD DEL TRATAMIENTO DEL 25 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE .	31
4.4	CURVAS AJUSTADAS DE ALTURA DE PLANTA CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA DEL NIVEL DEL 75 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	35
4.5	CURVAS AJUSTADAS DE ALTURA DE PLANTA CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA DEL NIVEL DEL 50 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	36
4.6	CURVAS AJUSTADAS DE ALTURA DE PLANTA CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA DEL NIVEL DEL 25 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	37

Figura	Página
4.7 CURVAS AJUSTADAS DE ALTURA DE PLANTA CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA.	38
4.8 AJUSTE DEL MODELO PARA ALTURA DE PLANTA .	39
4.9 AJUSTE DEL MODELO PARA INDICE DE AREA FOLIAR . . . . .	42
4.10 CURVAS AJUSTADAS DE INDICE DE AREA FOLIAR CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA DEL NIVEL DEL 75 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	44
4.11 CURVAS AJUSTADAS DE INDICE DE AREA FOLIAR CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA DEL NIVEL DEL 50 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	45
4.12 CURVAS AJUSTADAS DE INDICE DE AREA FOLIAR CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA DEL NIVEL DEL 25 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	46
4.13 CURVAS AJUSTADAS DE INDICE DE AREA FOLIAR CON RESPECTO A LOS DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA . . . . .	47
4.14 COMPARACION DEL CONSUMO DE AGUA DEL TRATAMIENTO DEL 75 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	49

Figura	Página
4.15 COMPARACION DEL CONSUMO DE AGUA DEL TRATA <u>M</u> MIENTO DEL 50 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	50
4.16 COMPARACION DEL CONSUMO DE AGUA DEL TRATA <u>M</u> MIENTO DEL 25 POR CIENTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE . . . . .	51
4.17 AJUSTE DEL MODELO DE REDDY PARA 28 DATOS .	52
4.18 AJUSTE DEL MODELO DE PALACIOS PARA 28 DATOS	53

## INTRODUCCION

En México existe una creciente demanda en el consumo de maíz debido tanto al incremento constante de la población, como a la participación de este cereal en la dieta del mexicano. Es por ésto que el incremento de la producción para satisfacer dicha demanda ha sido el tema de investigaciones que se han venido realizando desde hace más de 40 años, las cuales han permitido obtener cultivares más eficientes en la utilización de los recursos agua y suelo.

Las técnicas modernas de producción de cosechas, en su afán de obtener altos rendimientos e incrementar la eficiencia en el uso de insumos, ha conducido a hacer un uso y manejo indebidos del recurso suelo, provocando con ello daños irreversibles a los ecosistemas.

A nivel nacional, la mayoría de las superficies con riego se encuentran localizadas en las zonas áridas y tienen eficiencias totales de riego del 45 al 64 por ciento. Estas extensiones agrícolas están conformadas en gran parte por suelos limosos y arcillosos o la combinación de ambos, por lo que las velocidades de infiltración son relativamente bajas, la compactación de los suelos origina agrietamientos que perjudican la germinación;

por otra parte, la evapotranspiración es tan rápida que implica que los cultivos sufran sequía estacional severa antes del momento del riego. A final de cuentas, esta problemática repercute en el rendimiento económico de las plantas.

La presencia de la arcilla montmorillonita hace que la mayoría de los suelos presenten grietas profundas cuando están secos y que sean extremadamente duros y resistentes a la penetración y al corte; cuando húmedos son muy plásticos y adherentes. Otra desventaja del ambiente físico de ciertas regiones son las altas intensidades de la lluvia, que en muchas ocasiones son superiores a la velocidad de infiltración del suelo, provocando con ello altos escurrimientos (por ejemplo, más de 17 mil millones de metros cúbicos anuales en la cuenca del río Pánuco), con lo cual se pierde gran cantidad de nutrimentos además de miles de toneladas de suelo.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, los problemas de manejo de agua y suelos arcillosos en superficies bajo riego por orden de importancia son: gradientes de evaporación directa del suelo a la atmósfera (causa de estrés hídrico en la planta), excesos de humedad, labranza y salinización de los suelos y en el área de temporal erosión del suelo, labranza y manejo del agua de escorrentía.

Ante esta situación se han desarrollado diversas estrategias, tales como: el uso de antitranspirantes, cubiertas de polietileno (acolchados), prácticas de labranza, incorporación de materia orgánica y el uso de polímeros como acondicionadores sintéticos. Siendo esta última la alternativa elegida en este trabajo.

#### Objetivo

Evaluar la respuesta del cultivo de maíz (Zea mays L.) a la aplicación del polímero en el suelo a diferentes niveles de humedad.

Determinar la concentración del polímero y el nivel de humedad que genere un mayor desarrollo y producción del maíz.

#### Hipótesis

La aplicación del polímero al suelo a bajos niveles de humedad favorece el desarrollo y producción del maíz.

## REVISION DE LITERATURA

### Acondicionadores

Bear (1952) publicó varios artículos introduciendo los polímeros sintéticos (krilium) como acondicionadores de suelo a la comunidad científica. El interés fue grande durante los años cincuenta por la urgente necesidad de mejorar las propiedades físicas del suelo; sin embargo, la adopción de la metodología fue cara y su uso empezó después de pocos años. Estos y otros problemas que surgieron dio como resultado que se retiraran del mercado en los años sesenta.

El interés a nivel mundial ha continuado en esta área hasta la fecha; en mayo de 1986 el Soil Science dedicó un documento a un nuevo polímero llamado PAM, el cual es un copolímero modificado basado en la poli-acrilamida.

Al conjuntar estas piezas de trabajo surge la esperanza de una nueva ecnología con la cual se puede eliminar la barrera o factor limitante del mejoramiento del suelo. Esta barrera son las pobres propiedades físicas del suelo, las cuales limitan el movimiento de agua, desarrollo radicular y aireación del suelo. En la actualidad ésto puede ser posible con los nuevos materiales de los

acondicionadores y los nuevos métodos de aplicación, la cantidad de acondicionador que se necesita para mejorar una área dada de suelo puede acercarse a dos órdenes de magnitud menor que la usada hace 35 años (Wallace y Nelson, 1986). El procedimiento de aplicación involucra el uso de una gandy para aplicarlo en seco, la cual regula el flujo del polímero granular; otra manera sería con un inyector.

Los polímeros son moléculas grandes y lineales que contienen una o más unidades de repetición. Estos productos son macromoleculares y caen dentro del grupo de los materiales llamados copolímeros, manufacturados en moléculas múltiples unidas en forma de red, resultando con ello una gran capacidad de absorción de agua.

El nuevo polímero acondicionador de suelo llamado poliacrilamida es de producción nueva; similar al Krilium, es un polímero electrolítico que une partículas de suelo dentro de agregados estables al agua. Esto da como resultado una mejor aireación, penetración y retención del agua.

A diferencia del Krilium, la poliacrilamida es un material granular más fácil de manejar que no tiene olor.

Froto (1987) cita que los acondicionadores sintéticos de suelo que han estado disponibles por más de 30 años, han mejorado las propiedades del suelo relacionadas

con el manejo del agua. Estos resultados son aún válidos, la diferencia que presentan es que pueden obtenerse con muy bajas concentraciones de los nuevos polímeros; una razón para las bajas concentraciones es la aplicación de polímeros en el agua de riego, en contraste al procedimiento de aplicación de partículas secas en el suelo de hace 30 años.

Se ha establecido que las propiedades de estos acondicionadores incrementan el espacio poroso y la permeabilidad del suelo, infiltración del agua, reducen la escorrentía en aquellos suelos que pierden agua rápidamente después de una lluvia o riego.

#### Estabilidad de Agregados

Mejorando la estabilidad de agregados en una capa superficial del suelo tratado con un acondicionador, aumenta la infiltración del agua y se reduce sustancialmente la evaporación.

La condición superficial del suelo es debida a propiedades intrínsecas y estado de partículas, pueden afectar grandemente algunos procesos básicos como la infiltración, escurrimiento superficial, evaporación y distribución del agua dentro del perfil.

Wallace et al. (1986) trabajaron sobre mejoramiento de suelos sódicos con polímeros en pruebas de floculación, tamizado en húmedo; los tamaños de partículas fueron aproximadamente de cuatro a cinco veces mayores con los

acondicionadores que con los testigos.

Cook y Nelson (1986) trabajaron en campo e invernadero con poliacrilamida granular y líquida aplicada en la superficie para probar el efecto sobre suelo con problema de encostramiento y emergencia de planta. La emergencia mejoró en suelos tratados con soluciones de poliacrilamida (PAM), pero no cuando se trataron con PAM granulado.

#### Efectos en las Propiedades Hidráulicas

Mitchell (1986) utilizó la poliacrilamida en algodón y riego por surcos para evaluar la infiltración en un suelo arcilloso; el rango de infiltración se incrementó de 30 a 57 por ciento durante las primeras cuatro horas. La aplicación fue más efectiva en solución diluida en agua de riego que la que se aplicó sobre la superficie del suelo.

Wallace y Wallace (1986a) manejaron polímeros como acondicionadores de suelo (50 por ciento PAM y 50 por ciento polisacáridos) en proporciones de 0.00025 o mayores, observándose un mejoramiento en tasas de infiltración del agua; niveles bajos de polímero mejoraron la porosidad del suelo.

## Evidencias con Cultivos

Wallace y Wallace (1986b,c) manejaron suelos con problemas de encostramiento en plantas de tomate; estudiaron tres polímeros para evaluar la penetración de agua, agentes antiincrustantes y acondicionadores de suelo sobre emergencia de semilla. En general, los resultados más favorables de emergencia de semilla e infiltración de agua se consiguieron con polímero aniónico, seguido por el polímero catiónico; los tres polímeros mostraron efectos antiincrustantes favorables.

Posteriormente desarrollaron un trabajo sobre emergencia y crecimiento con plantas de tomate, algodón y lechuga con diferentes combinaciones de poliacrilamida y polisacáridos como acondicionadores de suelo.

En algunas pruebas los acondicionadores fueron aplicados en solución y otra parte aplicada en solución y parte mezclada en seco dentro del suelo. Los acondicionadores incrementaron tasas de emergencia y pesos de semilla seca.

### Efecto de la Humedad del Suelo sobre el Rendimiento y sus Componentes

El maíz es un usuario eficiente del agua en cuanto a la producción de materia seca, y entre los cereales es potencialmente el cultivo de grano de mayor rendimiento (Doorembos y Kassam, 1979). Sin embargo, la planta evapora agua como cualquier sistema físico, además de las necesidades

hídricas que precisa para las demandas metabólicas, debe cubrir las demandas de evaporación a través de la epidermis en la transpiración. En condiciones normales una planta de maíz absorbe durante su ciclo de vida unos 300 kilogramos de agua, de los que utiliza en procesos metabólicos alrededor de un dos por ciento y transpira el resto (Rojas, 1972).

Investigaciones realizadas por Jensen (1968), sobre relaciones suelo-planta destaca la importancia de la disponibilidad del agua en el suelo y su efecto sobre la producción de los cultivos. Realizó varios trabajos para definir las propiedades del suelo, el cual es responsable de la absorción y retención del agua; también señala que el contenido de agua en el suelo no es un criterio suficiente para describir la disponibilidad del agua para las plantas, sino que se requiere conocer el estado de energía de este elemento.

Kramer (1963) menciona que el crecimiento de las plantas es controlado directamente por el estrés de agua en la planta y sólo indirectamente por el estrés de agua en el suelo, ya que éste depende de las tasas relativas de absorción de agua; los daños por pérdidas de agua únicamente estarán en función del abastecimiento de agua en el suelo. Por lo anterior asumió que un deterioro o daño en la planta no siempre es provocado por el estrés de agua en el suelo.

Durante el desarrollo de los cultivos existen períodos críticos, en los cuales una tensión alta de la humedad del suelo puede reducir significativamente el rendimiento (Chang, 1968; Kramer, 1974); los autores mencionan además que el rendimiento puede ser afectado no sólo cuantitativamente sino cualitativamente. Jurgens et al. (1978) mencionan que la magnitud de la reducción del rendimiento en maíz por déficit de agua depende del estado de crecimiento en el que ocurre la deficiencia, así como de su severidad y duración.

Fisher y Turner (1978) al analizar la productividad de las plantas en términos de agua total transpirada, la eficiencia con que ésta es usada (gramos de materia seca producida por gramos de agua transpirada) y el índice de cosecha (relación entre rendimiento económico y la materia seca total), encontraron que el rendimiento bajo condiciones limitantes de humedad estuvo determinado por la transpiración total e índice de cosecha.

Leeper et al. (1974) reportan que un estrés frecuente de humedad redujo la altura del maíz, hubo desarrollo lento y causó reducción en el rendimiento, dependiendo de la duración y el grado de estrés.

Flesch y Dale (1987), usaron mediciones de 72 parcelas en 17 años para observar los cambios en el índice de área foliar (IAF) en maíz (Zea mays, L.), con reducciones de la humedad del suelo. El cambio de IAF fue dividido en tres períodos: 1) Siembra-floración; 2) Floración-

hasta el estado de rápida senescencia y 3) Rápida senescencia. La máxima área foliar se obtuvo en el tratamiento de no estrés. Las mediciones de área foliar y parcelas-año con estrés de humedad fueron usadas para obtener un factor de desarrollo (SGF), el cual se utilizó para reducir el IAF, el SGF fue determinado por porcentajes diarios de evapotranspiración actual (ETa) y potencial (ETp). Mencionan que valores menores que la unidad en la relación ETa/ETp reducen el desarrollo del IAF en los períodos dos y tres.

Eck (1986) evaluó el efecto del tiempo y duración de períodos de deficiencia de humedad sobre el desarrollo del cultivo de maíz, en una zona de alta demanda evaporativa. Los estudios fueron realizados durante cuatro años bajo cinco tratamientos: agua adecuada, períodos de dos y cuatro semanas de deficiencia de agua durante el desarrollo vegetativo y períodos de dos y cuatro semanas de deficiencia de agua durante el llenado de grano. Encontró que deficiencias de humedad impuestas a 41 días después de la siembra reduce el área foliar y el tallo, no siendo así cuando es impuesta a los 55 días después de la siembra, donde reduce únicamente el tallo. Menciona que déficit durante el llenado de grano no afecta el área foliar ni el desarrollo del tallo.

Palacios y Martínez (1978) concuerdan con los experimentos realizados por Volodarskij y Zinevic (1960), donde indican que un período de sequía en la primera etapa

vegetativa, que comprende desde la germinación hasta la formación de la séptima hoja, reduce el rendimiento de materia seca, pero el rendimiento en grano no se reduce o incluso se nota un ligero incremento si en la etapa siguiente el cultivo no tiene ningún déficit hídrico. Según estos mismos autores, la etapa más crítica respecto a la sensibilidad del cultivo al déficit de humedad del suelo es durante la fase de gametogénesis, es decir, desde el inicio de la floración, con una segunda etapa crítica al inicio de la formación del grano después de la floración.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1983) afirma que la mayoría de los cultivos se presentan períodos críticos durante la época de crecimiento en los que debe de mantenerse un nivel alto de humedad para lograr altos rendimientos. Si hay suficiente humedad para la germinación y el desarrollo, el período crítico casi siempre ocurre en la parte final de la estación cuando se aproxima la cosecha. El período crítico para el maíz es desde la inflorescencia (espigamiento) hasta la aparición de los estigmas (jilote).

Stewart et al. (1975) concluyeron que el rendimiento del grano de maíz es especialmente vulnerable al déficit hídrico durante el período de polinización, siempre que el cultivo no haya estado sujeto a estrés en el período vegetativo; sostienen que un déficit hídrico durante la polinización puede ocasionar grandes pérdidas en el

rendimiento del maíz. Sugieren sean tomados estos resultados muy en cuenta para la programación de los riegos.

Hanway (1971) menciona que el efecto de la deficiencia de humedad depende del estado de desarrollo en el cual se encuentre la planta.

ESTADO: Décima hoja totalmente emergida.

EFEECTO: Deficiencias a partir de este estado influirán marcadamente en el crecimiento y desarrollo de las mazorcas.

ESTADO: Doceava hoja totalmente emergida.

EFEECTO: Deficiencias en esta etapa pueden reducir severamente el tamaño potencial de la mazorca.

ESTADO: Catorceava hoja completamente emergida.

EFEECTO: Cualquier deficiencia de humedad puede reducir severamente el número de granos que se desarrollarán.

ESTADO: Dieciseisava hoja totalmente emergida.

EFEECTO: Falta de humedad ocasiona que se demore la aparición de los estigmas más que la emergencia de la espora y emisión de polen.

ESTADO: Emergencia de estigmas.

EFEECTO: Deficiencias de humedad pueden resultar en una polinización y formación de granos pobres.

Vega (1987) evaluó dos tratamientos de riego en el híbrido de maíz AN-430R; los tratamientos fueron los siguientes: 1) Riegos aproximadamente cada 20 días, 2)

Riegos en etapas críticas del cultivo (nacencia, iniciación floral, fecundación y estado lechoso); encontró que a mayor humedad (tratamiento uno) se presenan mayores alturas, área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento de grano.

En estudios realizados por Doorembos y Kassam (1979) encontraron que cuando existen evapotranspiraciones máximas de cinco a seis mm por día, el agotamiento del suelo hasta un 55 por ciento del agua disponible, tiene un efecto pequeño sobre el rendimiento. Ellos recomiendan un agotamiento algo mayor del agua durante los períodos iniciales de desarrollo, con la finalidad de estimular el crecimiento de las raíces, por lo cual sugieren que se apliquen los riegos cuando el nivel de agotamiento del agua llegue a los siguientes niveles según su etapa de desarrollo: para el período de establecimiento de 40 por ciento, entre 55 y 65 por ciento durante los períodos vegetativos, floración y formación de la cosecha, y hasta un 80 por ciento durante el período de maduración.

Con el propósito de determinar los efectos de la humedad sobre el desarrollo y rendimiento del maíz, Rodríguez (1985) condujo un experimento en el cual evaluó cuatro tratamientos de riego, basados en el abatimiento de la humedad disponible en el suelo, los cuales fueron: 20, 40, 60 y 80 por ciento de abatimiento de la humedad aprovechable; además consideró los tratamientos 60-20 y 35-60 de abatimiento de la humedad aprovechable en las

etapas vegetativa y reproductiva respectivamente, para conocer la susceptibilidad del cultivo a la deficiencia hídrica. Menciona que los resultados indican que un mejor rendimiento se obtiene con los tratamientos que sufrieron un menor estrés durante todo el ciclo del cultivo, por lo que el mejor tratamiento fue el de 20 por ciento de abatimiento de la humedad aprovechable.

Hanks (1974) propone un modelo para predecir rendimiento de planta entre materia seca total y grano, como una función del uso del agua. El modelo es sencillo para correrse en computadora, el cual determina el rendimiento estacional como influencia de: frecuencia y cantidad de riego, lluvia y almacenaje del agua en el suelo. En Israel y Nebraska encontró que con varios tratamientos de agua establecidos se tenía una buena adaptación para lo predicho y lo medido de materia seca y rendimiento de grano de maíz. Una asunción básica que hizo fue que la relación de rendimiento de materia seca actual y potencial es directamente proporcional a la transpiración actual y potencial; la ecuación es idéntica a la propuesta por Jensen (1968).

Narro (1976) trabajó con diferentes gradientes de humedad, donde encontró que la altura máxima de la planta fue de 325 cm en el tratamiento más húmedo, reduciéndose en forma gradual (11 al 15 por ciento) conforme decreció el gradiente húmedo; sucede lo mismo para el índice de área foliar así como para la evapotranspiración

total.

Villa (1987) menciona que la producción de área foliar en el tratamiento con menor disponibilidad de agua en el suelo fue la más baja, incrementándose conforme al aumento de la humedad en los tratamientos. De esta forma se manifestó la alta sensibilidad del crecimiento expansivo (agrandamiento celular) a los déficits hídricos de la planta.

#### Determinación del Momento del Riego

Fereres et al. (1978) establecieron un potencial mátrico del suelo ponderado en base al consumo relativo de agua en cada estrato, siendo:

$$\Psi_s = \sum_{i=1}^n \Psi_{si} * CR_i$$

donde:

$\Psi_s$  = Potencial mátrico del suelo ponderado

$\Psi_{si}$  = Potencial mátrico del suelo en el estrato  $i$

$n$  = Número de estratos donde existe consumo de agua

$CR_i$  = Consumo relativo de agua en el estrato  $i$

#### Modelos para Evapotranspiración

Palacios (1981) presenta una manera de estimar la evapotranspiración actual o real de los cultivos mediante la función.

$$ET_i = \left[ K + F \left[ \left( \frac{t_i}{t_c} \right)^2 \left( 1 - \frac{t_i}{t_c} \right) \right] \right] \left[ \frac{1}{1 + \left( \frac{E_{Vi}}{60} \right) \left( \frac{1 - H_{Ai}}{H_{Ai}} \right)} \right] E_{Vi}$$

donde:

$ET_i$  = Evapotranspiración real de los cultivos

$K$  = Parámetro de la función que indica la proporción de evaporación del suelo desnudo

$F$  = Función del índice de área foliar

$t_i$  = Duración del cultivo en días desde la siembra hasta el período  $i$

$t_c$  = Duración total del ciclo vegetativo del cultivo en días

$E_{Vi}$  = La evaporación en un tanque tipo A

Reddy (1983) propuso el siguiente modelo:

$$C_{et} = \left( 1 + \frac{5 - E_n}{16} \right) \left( \frac{t_n}{E_n} \right)^{1/2} \text{EXP}(-t_n + a) / K b_n$$

donde:

$t_n$  = Tiempo después de una lluvia (días)

$K$  = Máxima capacidad de retención de humedad disponible (CC-FMP) del suelo en la zona radicular (mm)

$a$  = Número de días después de una lluvia durante los cuales la humedad disponible retenida en los primeros diez cm del suelo pueden satisfacer la evapotranspiración potencial

$b_n$  = Coeficiente de desarrollo del cultivo

## MATERIALES Y METODOS

### Localización del Sitio Experimental

El experimento se estableció en el campo del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), localizado en la margen derecha del Canal Sacramento, km 6.5 en Gómez Palacio, Dgo; con 26 ° latitud norte, longitud de 104° W y una altitud de 1135 msnm.

### Características Climáticas

Para la Región Lagunera, según Thorntwaite, el clima es muy seco con deficiencia de lluvia en todas las estaciones y temperatura semicálida, con invierno benigno. De acuerdo con la clasificación de Koppen, el clima es desértico con lluvias en verano y temperatura caliente. Los registros de temperatura indican una media anual de 21°C, con una media de 27°C para el mes más caluroso. La precipitación es de 250 mm anuales.

### Propiedades Físicas del Suelo.

Las propiedades físicas del suelo se encuentran en el Cuadro 3.1 por estratos hasta la profundidad de interés para este experimento.

Cuadro 3.1 Propiedades Físicas del Suelo

Prof. (cm)	Textura	Da g/cm	CC %	FMP %	HA (mm)	pH	CE mmhos/cm
0-20	M. arcilloso	1.32	27.65	15.90	31.02	7.8	3.11
20-40	M. arcilloso	1.32	26.91	14.89	31.73	7.9	2.27
40-40	M. arcilloso	1.30	30.29	15.36	38.82	8.0	1.08
60-80	M. arcilloso	1.31	32.49	14.44	47.29	8.0	0.86

La textura se analizó con el método de Bouyoucos y la densidad aparente se midió utilizando la barrena de volumen conocido, balanza y estufa. De acuerdo a lo anterior, el suelo se considera migajón arcilloso. La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente fueron determinados en laboratorio mediante el método de olla y membrana de presión.

#### Parcela Experimental

Para llevar a cabo este experimento se contó con 48 unidades experimentales; la parcela experimental tuvo las dimensiones de 9X8 m. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 3.1

#### Factores y Niveles de Estudio

Factores de Estudio. Los factores de estudio fueron cuatro dosis del polímero (PAM): 5.0 ( $b_1$ ), 7.5 ( $b_2$ ), 10.0 ( $b_3$ ) y 0.0 ( $b_4$ ) kg/ha. La aplicación se hizo al momento de la siembra, y se depositó el polímero junto a la semilla.

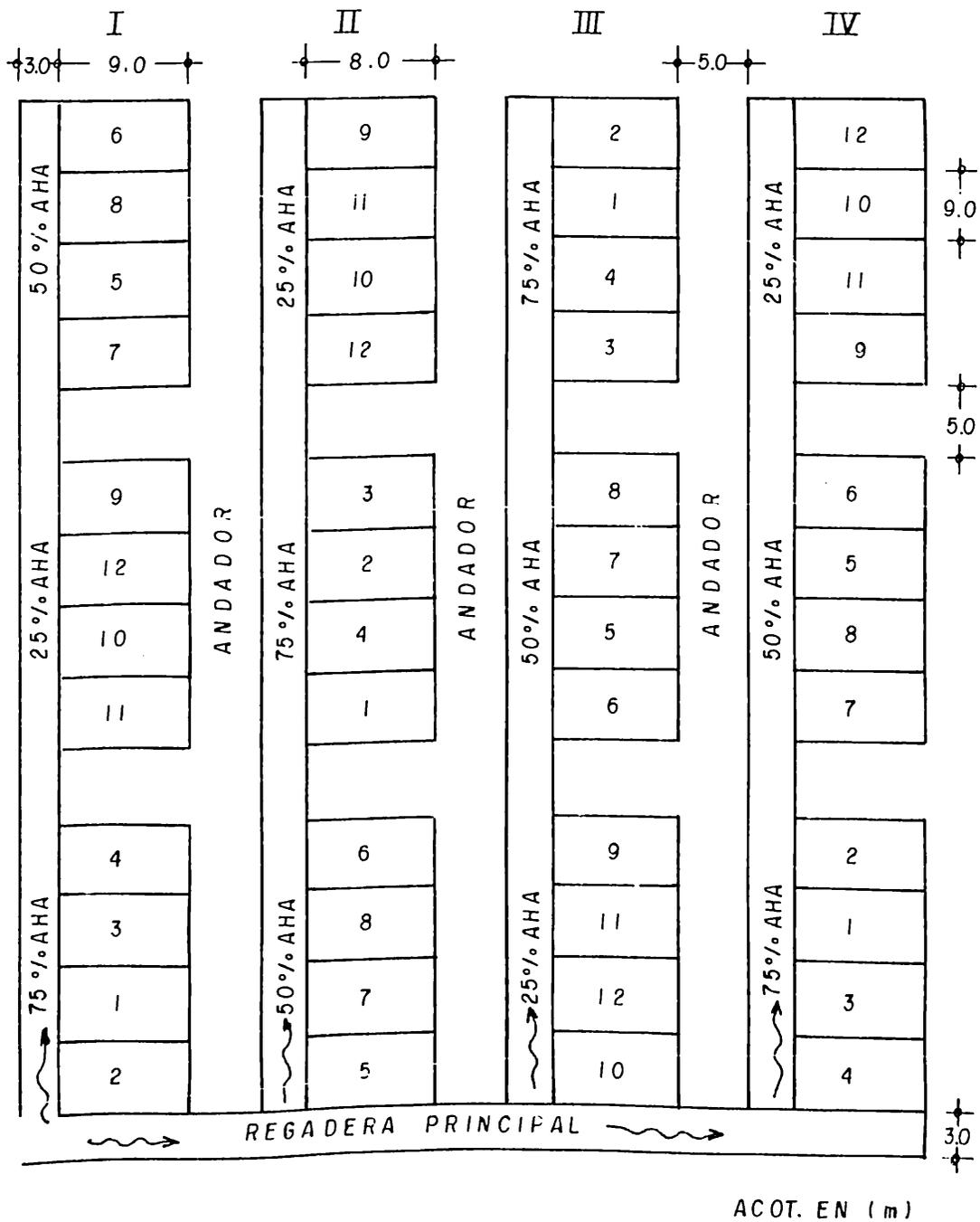


Figura 3.1.- Croquis del experimento y aleatorización de tratamientos.

Niveles de Estudio. Los niveles a probar fueron en base al por ciento de la humedad aprovechable, siendo éstos 25 ( $a_3$ ), 50 ( $a_2$ ) y 75 ( $a_1$ ) por ciento. La cantidad de agua se obtuvo a partir de la ecuación que rige el comportamiento de la retención de humedad del suelo de la siguiente manera:

De los datos registrados por la olla y membrana de presión ( $P_s$ ,  $T$ ) se obtuvo por regresión la ecuación  $P_s = K T^n$  para las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm, como se muestra en el Cuadro 3.2

Cuadro 3.2 Modelos de regresión para el comportamiento de la retención de humedad.

Estrato (cm)	Modelo	$R^2$
0-20	$P_s = 23.32 T^{-0.1414}$	0.967
20-40	$P_s = 22.43 T^{-0.1513}$	0.816
40-60	$P_s = 24.57 T^{-0.1736}$	0.848
60-80	$P_s = 25.32 T^{-0.2072}$	0.901

### Diseño Experimental

El diseño experimental fue un bloque al azar con parcelas divididas en un 3X4 con cuatro repeticiones, con un total de 12 tratamientos; la parcela grande es el porcentaje de humedad y la chica la concentración del polímero. Los tratamientos resultantes son los que se presentan en el Cuadro 3.3

Cuadro 3.3 Tratamientos Resultantes

Tratamiento	Por ciento de humedad	Dosis de polímero
1	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>
2	a <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
3	a <sub>1</sub>	b <sub>3</sub>
4	a <sub>1</sub>	b <sub>4</sub>
5	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>
6	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>
7	a <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
8	a <sub>2</sub>	b <sub>4</sub>
9	a <sub>3</sub>	b <sub>1</sub>
10	a <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>
11	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>
12	a <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>

#### Trabajos de Campo

Las Prácticas agronómicas llevadas a cabo durante el desarrollo del presente trabajo fueron las recomendadas por el Centro de Investigación Forestal y Agropecuaria Región Lagunera, perteneciente al Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agropecuaria (CIFAP-INIFAP). Cabe aclarar que en dos ciclos anteriores no se estableció ningún cultivo.

Preparación del Terreno. Se llevó a cabo un barbecho profundo, rastreo cruzado y nivelación con land plane; posteriormente se procedió a trazar el experimento en

base a la Figura 3.1.

Siembra y Aplicación de Tratamientos. La siembra se hizo en seco con sembradora mecánica el 25 de junio de 1990; la semilla utilizada fue la variedad B-555 en la densidad de 80 mil plantas/ha. La distancia entre surcos fue de 90 cm y entre plantas aproximadamente 14 cm.

Se hizo una única aplicación del polímero en forma manual al momento de la siembra, depositándolo junto a la semilla de acuerdo a la aleatorización de tratamientos, la cual se observa en el croquis del experimento (Figura 3.1).

Con el propósito de proteger el lote experimental contra daños de roedores y pájaros, se sembró una franja de terreno a cada lado de éste.

Fertilización. La dosis de fertilización que se utilizó fue la fórmula 120-40-00, aplicándose la mitad del nitrógeno y todo el fósforo en el momento de la siembra y el resto del nitrógeno se aplicó después; la aplicación del fertilizante fue hecha en forma mecánica, usando como fuente de nitrógeno a la urea (46 por ciento) y superfosfato triple de calcio (46 por ciento) como fuente de fósforo.

Labores de Cultivo. Se realizó un deshierbe con azadón y una escarda cuando así se requirió.

Riegos. Después de la siembra se aplicó el riego de germinación, se esperó a que el cultivo estuviera establecido (39 días) para iniciar el control de humedad. En base

a los muestreos, los riegos se dieron cuando el potencial mátrico del suelo ponderado llegó al valor fijado para cada tratamiento. Se definió el momento de aplicar el riego utilizando la metodología de Fereres et al. (1978), quienes establecen un potencial mátrico del suelo ponderado en base al consumo relativo de agua en cada estrato de suelo; ésto es dado por las siguientes relaciones:

$$\Psi_s = \sum_{i=1}^n \Psi_{si} * CR_i$$

$$CR_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

donde:

$\Psi_s$  = Potencial mátrico del suelo ponderado

$\Psi_{si}$  = Potencial mátrico del estrato  $i$

$n$  = Número de estratos donde hay consumo de agua

$C_i$  = Consumo de agua en el estrato  $i$

$CR_i$  = Consumo relativo de agua en el estrato  $i$

Los riegos se aplicaron mediante sifones de aluminio de dos pulgadas de diámetro previamente calibrados, y la cantidad de agua suministrada a las parcelas fue para reponer el agua consumida por el cultivo.

Control Fitosanitario. Debido a que durante el ciclo del cultivo se presentaron lluvias fuera de lo normal, se originó una alta incidencia de plagas; las plagas que se presentaron fueron gusano cogollero (Spodoptera

frugiperda), gusano barrenador (Zeadiatraea sp) y pulgón (Rhopalosiphum maidis); su control fue posible hasta la cosecha con aplicaciones de insecticida.

Datos de Clima. Durante el desarrollo del cultivo se tomaron los datos requeridos para la evaluación de los modelos Reddy (1983) y Palacios (1981), los cuales se anexan.

Medición del Consumo de Agua. Para obtener la evolución de la humedad en el suelo y un patrón de comparación con la estimada por los modelos mencionados, el suelo se muestreó utilizando el método gravimétrico las veces necesarias.

Medición del Area Foliar. El área foliar se midió periódicamente (cada ocho días) con la finalidad de obtener el índice de área foliar, que según Chang (1968) es la relación existente entre el área foliar por unidad de área de suelo sombreado.

Para obtener el área foliar (AF) se midió el largo (L) y el ancho (A) de las hojas.

Cosecha. La cosecha se realizó en forma manual, siendo las dimensiones de la parcela útil de 6.0 m de largo por 1.8 m de ancho ( $10.8 \text{ m}^2$ ) y se localizó en el centro de la parcela experimental.

## RESULTADOS

### Duración del Ciclo del Cultivo

Para el establecimiento de los tratamientos se requirieron 39 días después de la siembra, haciendo un total de 89 días en todo el ciclo del cultivo.

### Rendimiento de Forraje Verde

Durante el ciclo del cultivo en la Comarca Lagunera se presentaron precipitaciones fuera de lo normal y como consecuencia concentrándose la incidencia de plagas que se tuvieron que controlar con aplicaciones contínuas de insecticida ya que no se pudieron erradicar completamente, de tal manera que con la finalidad de salvar el rendimiento se utilizó un insecticida que aplicado al suelo se trasloca a la planta y bloquea la incidencia del gusano barrenador que fue el que provocó mayores daños.

En el Cuadro 4.1 se muestra la respuesta del cultivo por tratamiento y por repetición. En el Cuadro 4.2 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento resultando que no hubo diferencia entre tratamientos.

Cuadro 4.1. Rendimientos resultantes del experimento (ton/ha)

Factores		R e p e t i c i o n			
a	b	1	2	3	4
1	1	52.78	46.30	46.30	32.41
1	2	52.78	45.37	60.18	36.11
1	3	37.96	42.59	41.67	42.59
1	4	38.89	48.15	54.63	42.59
2	1	50.92	41.67	47.22	48.15
2	2	54.62	48.15	45.37	54.63
2	3	60.18	38.89	31.48	39.81
2	4	54.63	33.33	56.48	50.00
3	1	56.48	58.33	40.74	41.67
3	2	45.37	43.52	41.67	46.30
3	3	45.37	52.78	28.70	46.30
3	4	46.30	41.67	32.41	48.15

Cuadro 4.2. Análisis de varianza del rendimiento de maíz

Fuente	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F(tablas)	
					0.05	0.01
Repetición	3	266.9141	88.9713	0.5727		
Factor A	2	58.0078	29.0039	0.1867	5.14	10.92
Error A	6	932.1875	155.3616			

### Número de Riegos y Láminas Consumidas

Los números de riegos aplicados oscilaron de tres a siete en los tratamientos, y las láminas consumidas variaron en un rango de 137 mm como se puede apreciar en el Cuadro 4.3

### Evolución de la Humedad en el Suelo

Los resultados del muestreo gravimétrico de la humedad para las capas de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm se muestran en la Figura 4.1 para el tratamiento del 75 por ciento de la humedad aprovechable que fue el más húmedo. Se hicieron 12 muestreos con la finalidad de rastrear el momento del riego; la variación del contenido de humedad por capa se puede apreciar en dicha figura donde se distingue que la mayoría de los puntos estuvieron entre el 75 y el 50 por ciento de la humedad aprovechable y sólo unos cuantos se mantuvieron arriba del 75 por ciento de la humedad aprovechable.

Cuadro 4.3 Número de riegos y láminas consumidas en cada tratamiento.

Tratamiento	No. de Riegos	Lámina Consumida (mm)
$a_1, b_i$ (i=1,2,3,4)	7	466.49
$a_2, b_i$ (i=1,2,3,4)	5	345.23
$a_3, b_i$ (i=1,2,3,4)	3	329.04

Otro de los tratamientos fue el de 50 por ciento de la humedad aprovechable en el cual se realizaron 12 muestreos para las cuatro capas consideradas. En la Figura 4.2 se muestra la evolución del contenido de humedad donde se distingue que la mayoría de los puntos estuvieron arriba del 50 por ciento de la humedad aprovechable.

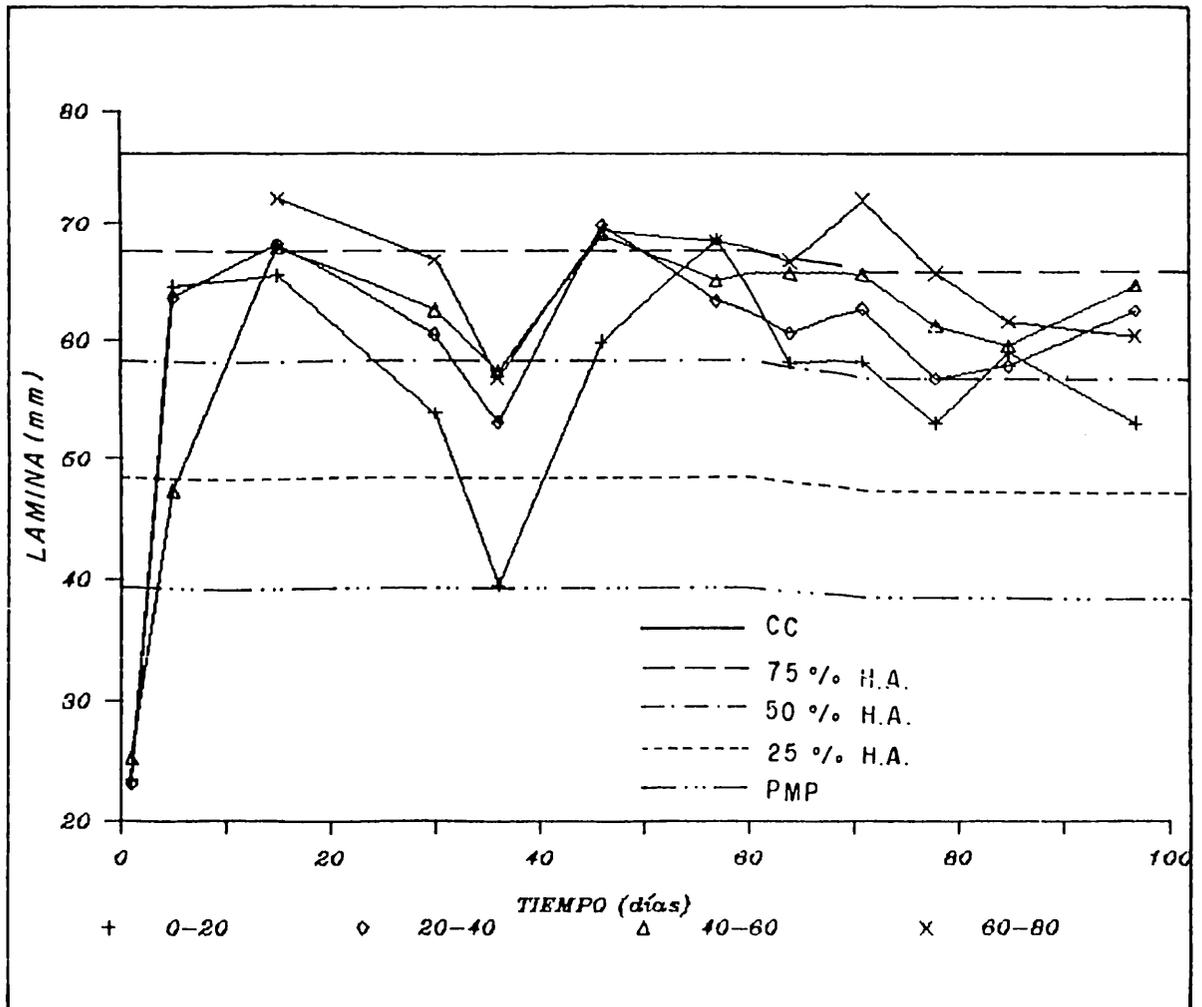


Figura 4.1. Evolución de la humedad del tratamiento del 75 por ciento de la humedad aprovechable.

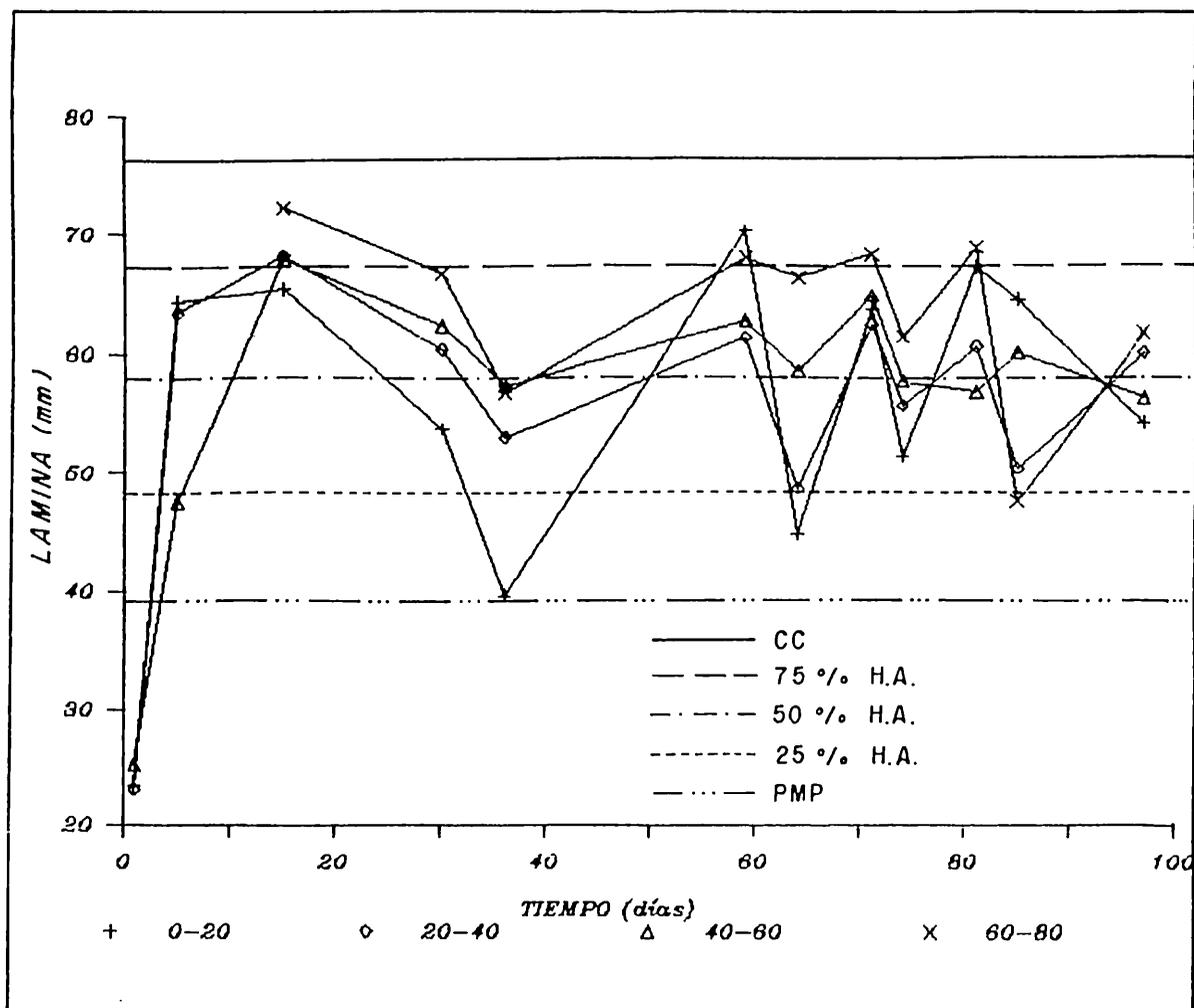


Figura 4.2. Evolución de la humedad del tratamiento del 50 por ciento de la humedad aprovechable.

El tratamiento del 25 por ciento de la humedad aprovechable fue el menos húmedo, en la Figura 4.3 es posible distinguir la variación del contenido de humedad en donde se ve que el 50 por ciento de los puntos estuvieron entre el 50 y el 25 por ciento de la humedad aprovechable.

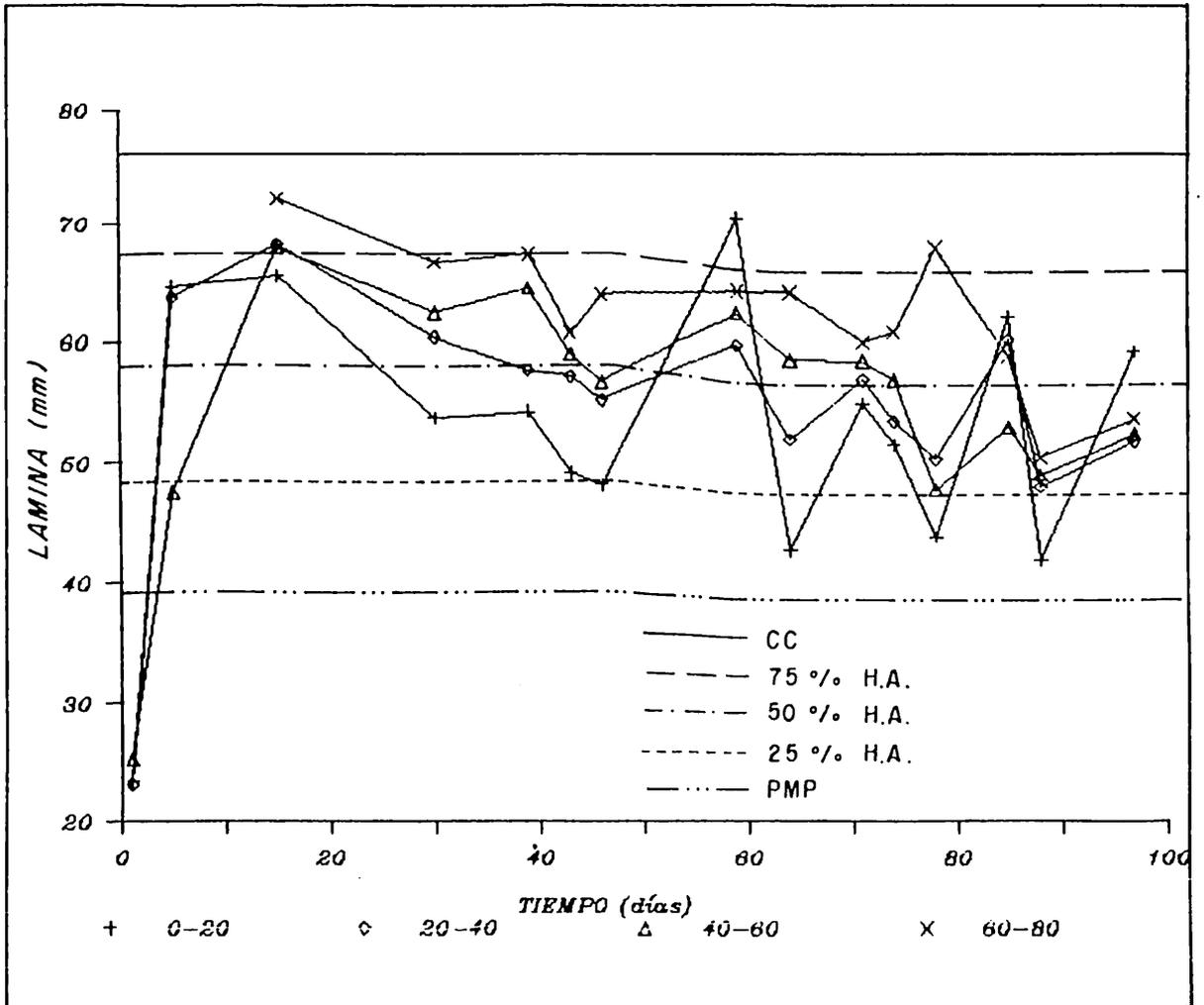


Figura 4.3. Evolución de la humedad del tratamiento del 25 por ciento de la humedad aprovechable.

#### Altura y su Simulación

Los resultados promedio de cuatro repeticiones obtenidos en cada día de muestreo, se presentan en el Cuadro 4.4

Cuadro 4.4. Resultados promedio de altura de planta (cm), registrados en cuatro repeticiones en cada día de muestreo.

Tratamiento	Días después de la siembra, DDS						
	43	53	57	63	70	77	84
1	58.13	108.5	129.25	166.25	213.13	235.63	240.63
2	58.75	100.0	118.83	182.5	215.0	244.38	255.0
3	50.13	105.13	127.5	170.63	207.17	231.88	236.67
4	53.75	109.38	133.38	185.0	221.88	248.75	261.67
5	64.75	115.0	132.38	182.5	206.88	253.38	261.25
6	60.75	113.5	134.38	161.88	182.25	235.0	248.75
7	51.75	88.33	122.13	163.13	209.75	255.0	258.33
8	63.13	116.13	140.87	176.25	212.63	248.75	261.67
9	57.25	109.75	132.83	167.5	202.38	227.5	242.5
10	53.38	97.0	130.63	155.0	173.67	223.75	243.37
11	56.25	93.67	124.25	162.5	200.63	232.5	248.83
12	52.75	89.5	113.25	147.5	190.13	228.13	232.5

Los datos de altura de planta fueron ajustados al modelo sigmoïdal, mediante el uso de la técnica de regresión lineal (Villa, 1987); debido a que éstos siguieron esta tendencia. Además este modelo matemático, representa la curva típica de crecimiento (Salisbury y Ross, 1978) La ecuación del modelo sigmoïdal es la siguiente:

$$Y = \frac{A}{1 + BX^n}$$

donde:

Y = Altura de planta (cm)

X = Tiempo (días)

A = Constante relacionada con el valor máximo de la altura de planta

B y n = Parámetros obtenidos por regresión

El modelo ajustado de altura de planta con respecto a los días después de la siembra para el tratamiento uno ( $a_1b_1$ ), es el siguiente:

$$ALT = \frac{244}{1 + 2.2 \text{ E}+14 \text{ DDS}^{-8.297}}$$

En el Cuadro 4.5 se presentan los datos de salida de regresión tales como el coeficiente de determinación, valor de las constantes y el valor de los exponentes quedando éstos como aceptables, así como los valores de la constante relacionada con el valor máximo de la altura (A) para el resto de los tratamientos.

Cuadro 4.5 Valores de ecuaciones de los modelos ajustados de altura de planta (cm) con respecto a los días después de la siembra.

Tratamiento	A	Constante	Exponente	R <sup>2</sup>
a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	244	2.2 E+14	- 8.297	0.939
a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	258	2.8 E+14	- 8.322	0.919
a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	240	4.8 E+14	- 8.484	0.952
a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	265	1.9 E+14	- 8.223	0.937
a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	264	1.8 E+14	- 8.233	0.892
a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	252	1.2 E+13	- 7.533	0.873
a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	261	1.2 E+16	- 9.234	0.896
a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	265	3.4 E+13	- 7.808	0.908
a <sub>3</sub> b <sub>1</sub>	245	5.9 E+13	- 7.952	0.905
a <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	246	2.9 E+13	- 7.729	0.851
a <sub>3</sub> b <sub>3</sub>	252	6.0 E+13	- 7.913	0.899
a <sub>3</sub> b <sub>4</sub>	235	1.6 E+15	- 8.752	0.895

Con las ecuaciones del Cuadro A.1 del apéndice - se obtuvieron las curvas de crecimiento en altura, mismas que se presentan en las Figuras 4.4, 4.5 y 4.6. De acuerdo a la tendencia de dichas curvas en cada uno de los tratamientos se seleccionó el que obtuvo mayor altura; resultando los tratamientos cuatro (a<sub>1</sub>b<sub>4</sub>), cinco (a<sub>2</sub>b<sub>1</sub>) y once (a<sub>3</sub>b<sub>3</sub>) que están representados en la Figura 4.7 en la que se observa que la tasa de aumento en la altura de planta en los tratamientos cuatro (a<sub>1</sub>b<sub>4</sub>) y cinco (a<sub>2</sub>b<sub>1</sub>) -

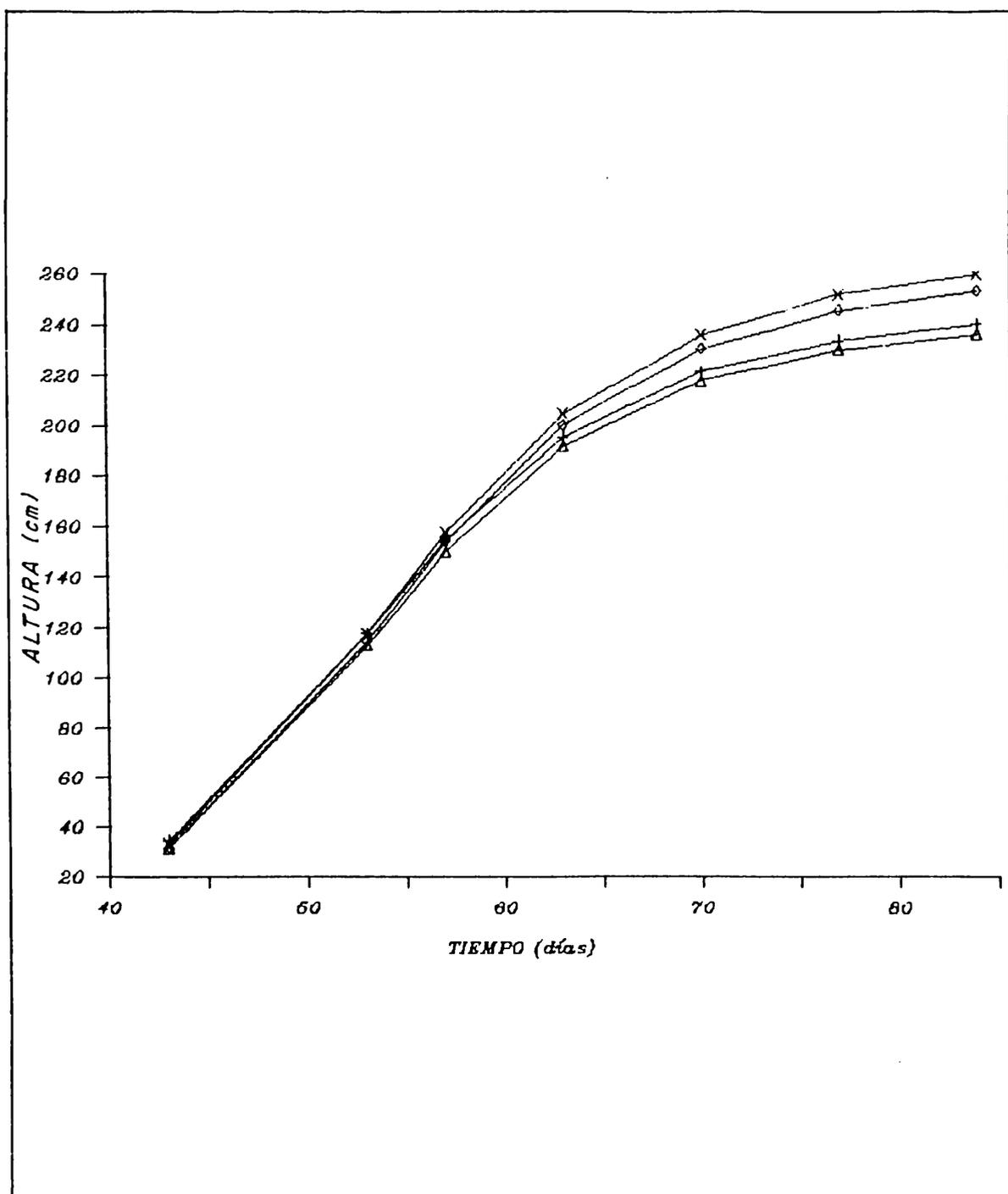


Figura 4.4. Curvas ajustadas de altura de planta con respecto a los días después de la siembra del nivel del 75 por ciento de la humedad aprovechable. El tratamiento uno ( $a_1b_1$ ) se representa por +, el dos ( $a_1b_2$ ) por ◇, el tres ( $a_1b_3$ ) por Δ y el cuatro ( $a_1b_4$ ) por X.

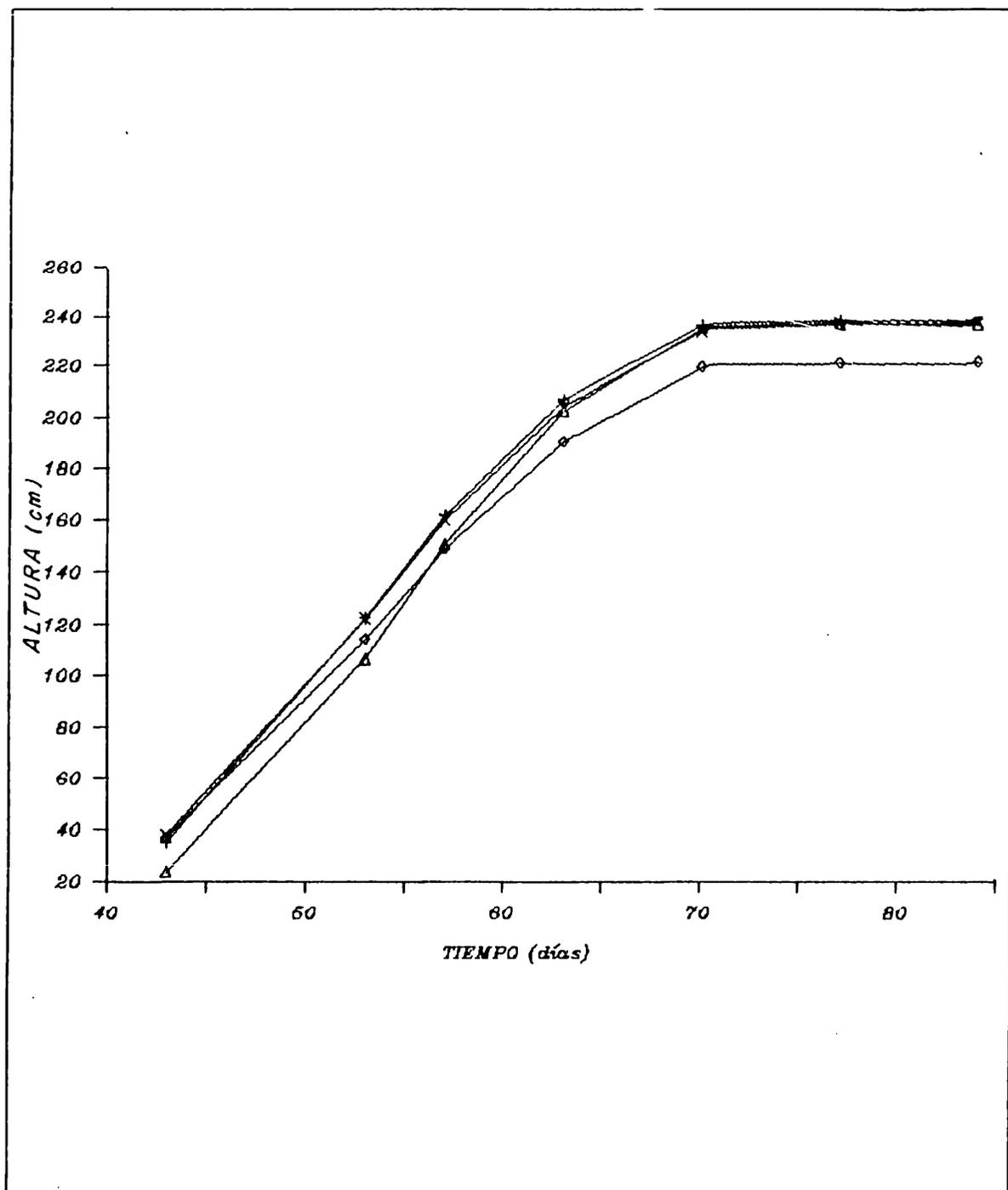


Figura 4.5. Curvas ajustadas de altura de planta con respecto a los días después de la siembra del nivel del 50 por ciento de la humedad aprovechable. El tratamiento cinco ( $a_2b_1$ ) se representa por +, el seis ( $a_2b_2$ ) por ◇, el siete ( $a_2b_3$ ) por Δ y el ocho ( $a_2b_4$ ) por X.

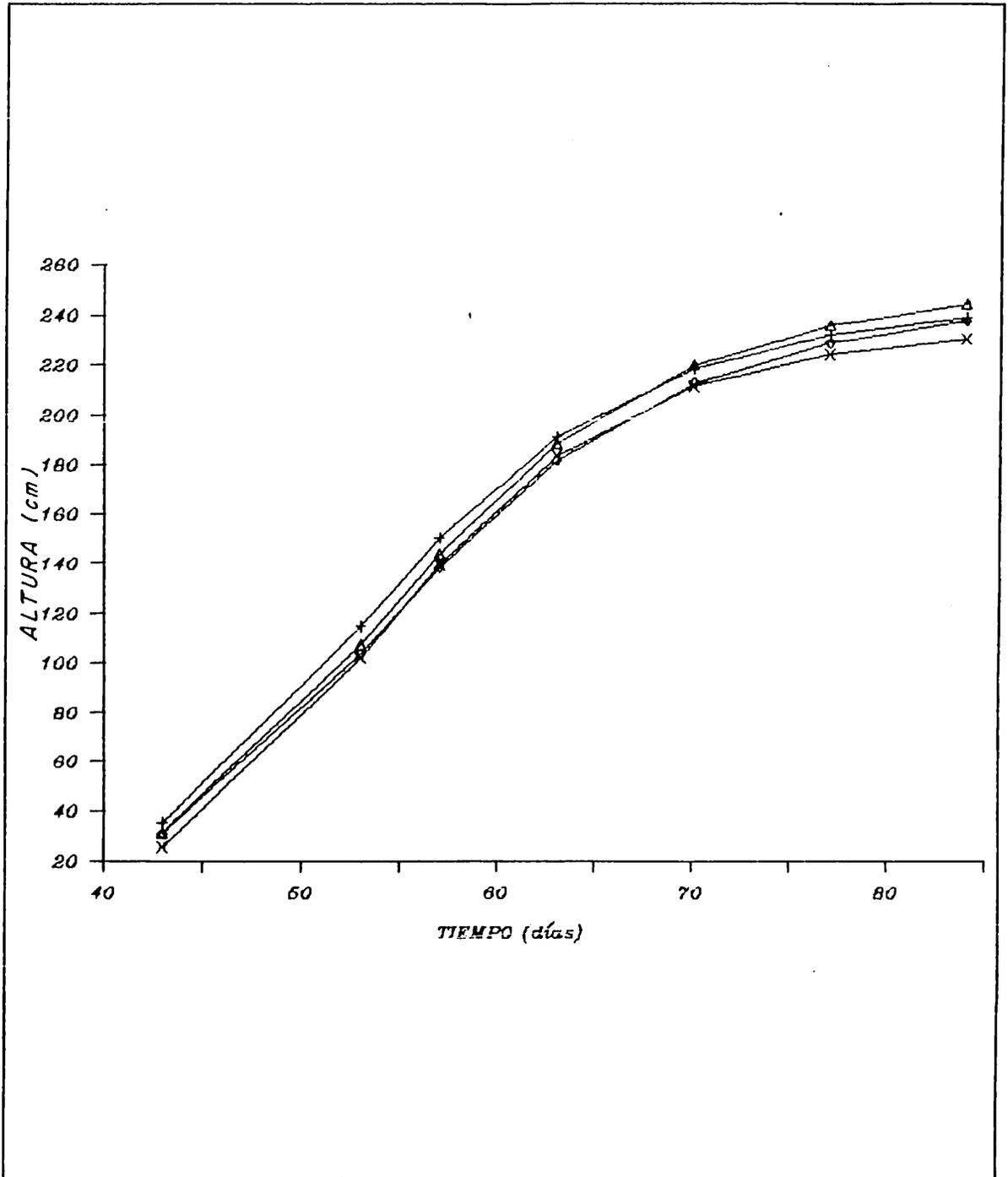


Figura 4.6. Curvas ajustadas de altura de planta con respecto a los días después de la siembra del nivel del 25 por ciento de la humedad aprovechable. El tratamiento nueve ( $a_3b_1$ ) se representa por +, el diez ( $a_3b_2$ ) por ◊, el once ( $a_3b_3$ ) por Δ y el doce ( $a_3b_4$ ) por X.

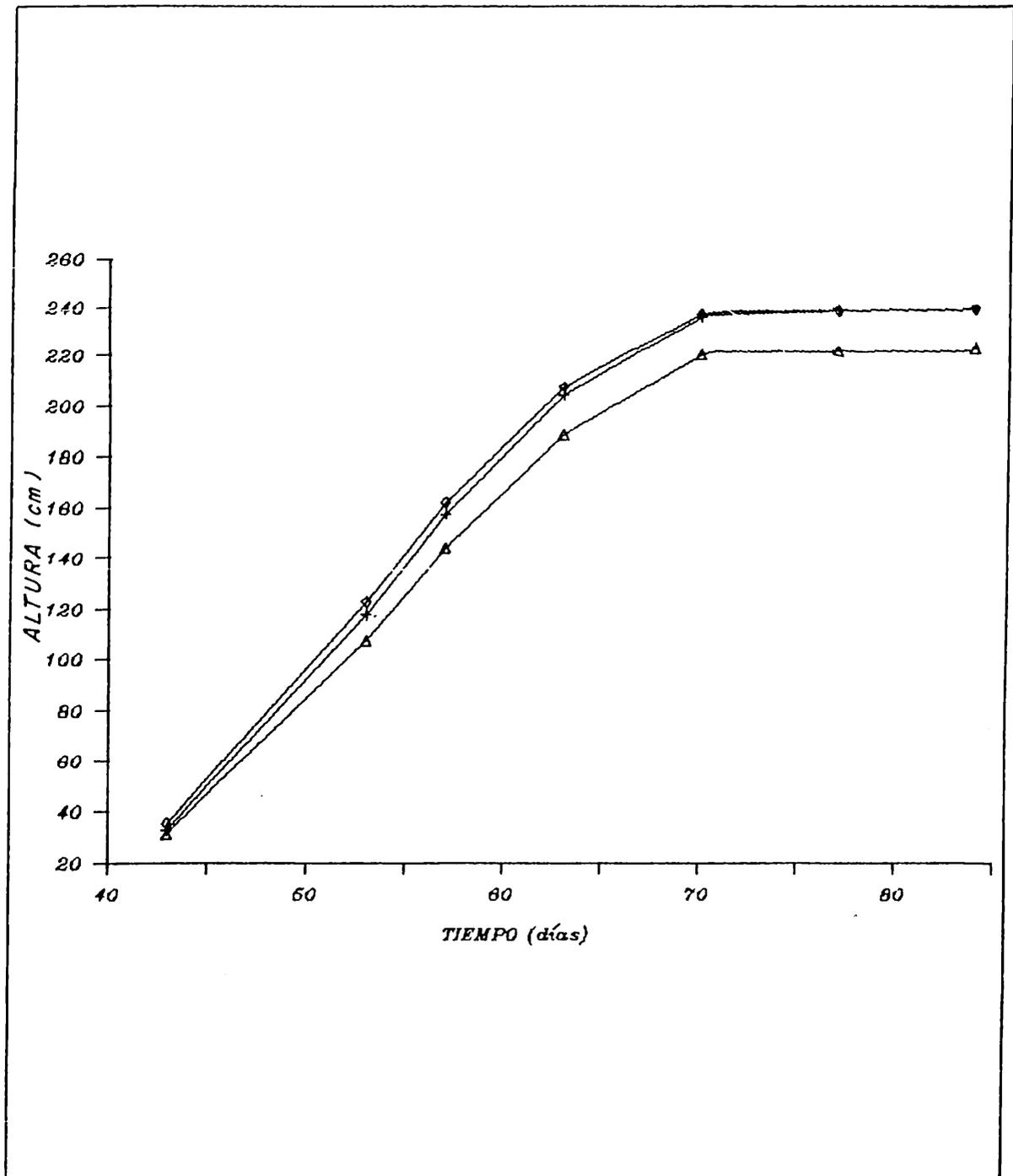


Figura 4.7. Curvas ajustadas de altura de planta con respecto a los días después de la siembra. El tratamiento cuatro ( $a_1b_4$ ) se representa por +, el cinco ( $a_2b_1$ ) - por ◇ y el once ( $a_3b_3$ ) por Δ.

fue muy similar; mientras que en el tratamiento once ( $a_3b_3$ ) ésta resultó ser inferior.

La prueba de bondad de ajuste de valores observados y valores estimados mediante una regresión lineal se utilizó para comprobar que el fenómeno está bien definido, ya que la constante tiende a cero y el coeficiente se acerca a la unidad, lo cual se puede apreciar en la Figura 4.8.

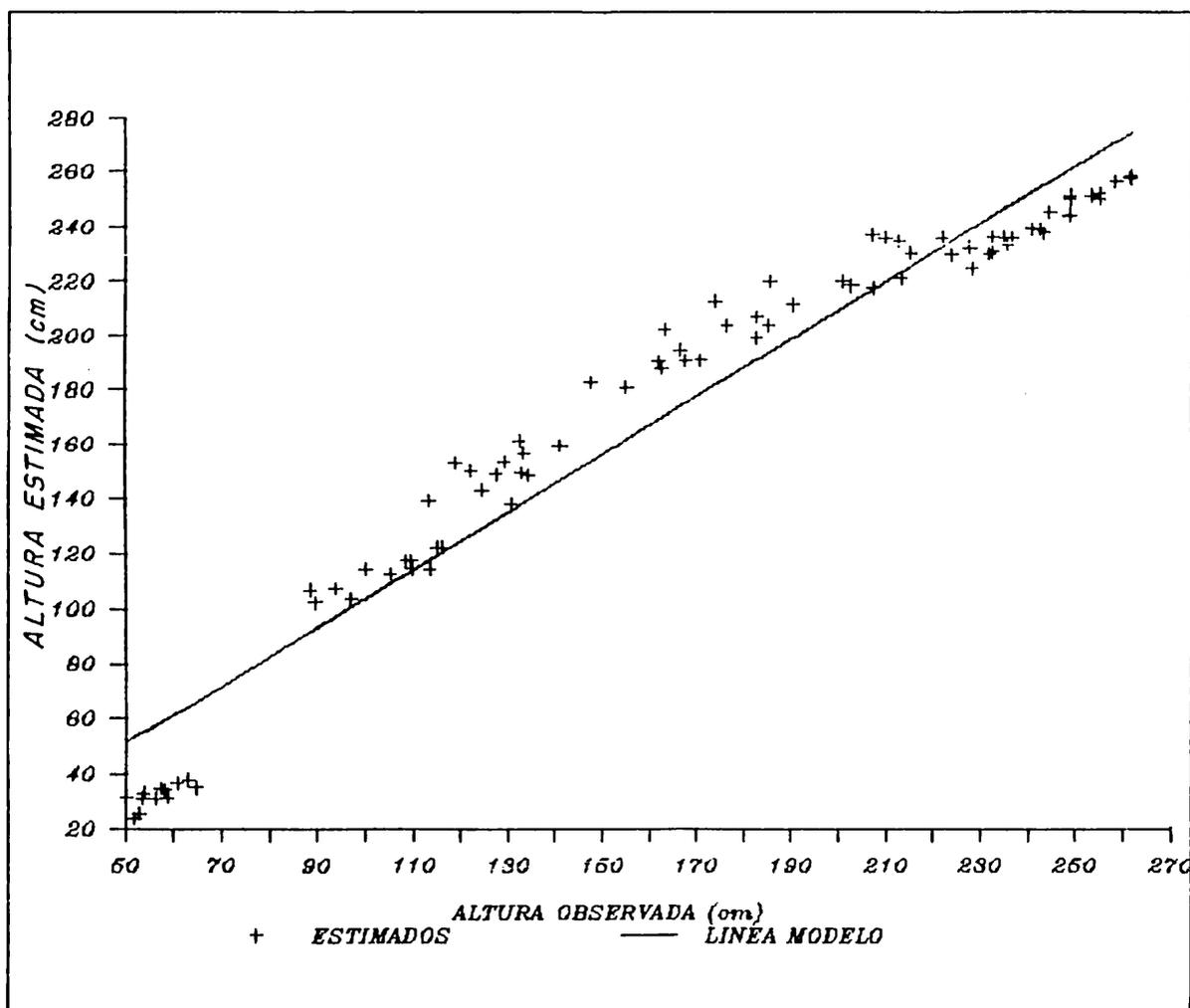


Figura 4.8. Ajuste del modelo para altura de planta.

### Area Foliar y su Relación Funcional

Los valores promedio del índice de área foliar, registrados en cuatro repeticiones en cada día de muestreo, se presentan en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4.6. Valores promedio de índice de área foliar, registrados en cuatro repeticiones en cada día de muestreo.

Tratamiento	Días después de la siembra, DDS						
	43	53	57	63	70	77	84
1	2.17	4.34	5.19	4.63	5.46	5.46	5.65
2	2.12	4.08	4.31	5.73	5.02	5.37	5.92
3	1.72	4.25	5.05	5.53	5.20	5.45	6.17
4	1.76	4.56	5.48	5.11	5.43	6.16	6.70
5	2.40	5.19	5.55	6.18	5.89	6.56	7.15
6	2.33	4.96	5.34	5.07	5.40	6.33	6.80
7	1.73	4.20	5.17	5.36	5.76	6.52	6.77
8	2.31	4.77	5.58	5.56	5.48	6.78	6.53
9	1.62	4.46	5.03	5.09	4.95	4.99	5.84
10	1.69	4.59	5.02	4.96	5.30	5.40	6.26
11	1.75	4.41	5.36	5.14	5.17	5.90	5.96
12	1.30	3.67	4.37	4.45	5.13	5.04	5.49

Debido a que los datos de índice de área foliar con respecto a los días después de la siembra siguieron una tendencia exponencial cuadrática, éstos fueron ajustados a esta función mediante el uso de la técnica de

U.A.A.N.

regresión lineal múltiple (Villa, 1987). De acuerdo con lo señalado por France y Thornley (1984), es una ecuación de crecimiento empírica y se escribe de la siguiente forma:

$$Y = \text{EXP} ( a + bx + cx^2 )$$

donde:

Y = Índice de área foliar

EXP = Base de los logaritmos naturales

a, b y c = Constantes obtenidas por regresión

x = Tiempo en días

El modelo obtenido para el tratamiento uno ( $a_1b_1$ ), es el siguiente:

$$\text{IAF} = \text{EXP} (-3.4954 + 0.1431 \text{ DDS} - 0.00097 \text{ DDS}^2 )$$

En el Cuadro 4.7 se presentan los datos de salida de regresión tales como el coeficiente de determinación, valor de las constantes y valor de los coeficientes quedando éstos como aceptables para el resto de los tratamientos, ya que al hacer la prueba de bondad de ajuste por medio de regresión lineal resulta lo mostrado en la Figura 4.9.

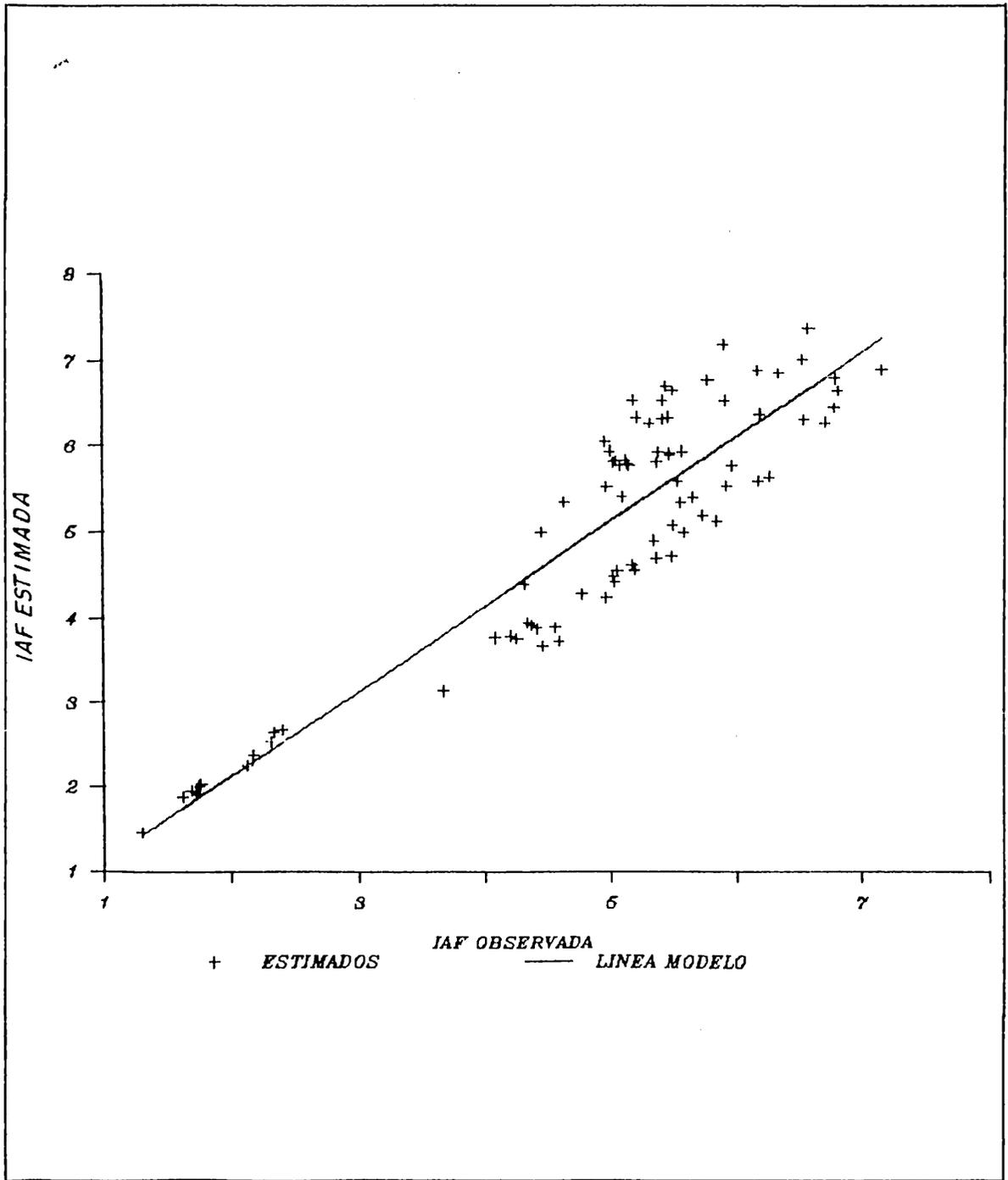


Figura 4.9. Ajuste del modelo para índice de área foliar.

Cuadro 4.7. Valores de ecuaciones de los modelos ajustados de índice de área foliar con respecto a los días después de la siembra.

Tratamiento	Constante	Coeficientes		R <sup>2</sup>
		b	c	
a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	-3.4954	0.1431	-0.00097	0.899
a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	-3.5168	0.1411	-0.00094	0.925
a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	-5.1032	0.1895	-0.00129	0.902
a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	-4.7678	0.1785	-0.00119	0.883
a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	-3.4665	0.1448	-0.00096	0.904
a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	-2.8090	0.1215	-0.00078	0.866
a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	-5.0224	0.1844	-0.00122	0.945
a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	-3.4905	0.1441	-0.00096	0.905
a <sub>3</sub> b <sub>1</sub>	-5.2438	0.1943	-0.00134	0.851
a <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	-4.8731	0.1818	-0.00123	0.869
a <sub>3</sub> b <sub>3</sub>	-5.0260	0.1881	-0.00128	0.891
a <sub>3</sub> b <sub>4</sub>	-6.2226	0.2168	-0.00147	0.931

Con los modelos ajustados se estimaron los valores de índice de área foliar para las diferentes edades de la planta donde se muestreó; estos se presentan en forma gráfica en las figuras 4.10, 4.11 y 4.12 para los tratamientos 75, 50 y 25 por ciento de la humedad aprovechable respectivamente. De acuerdo a las tendencias de dichas curvas en cada uno de los tratamientos, se seleccionó el que obtuvo el mayor índice de área foliar resultando los

tratamientos cuatro ( $a_1b_4$ ), cinco ( $a_2b_1$ ) y once ( $a_3b_3$ ) que están representados en la Figura 4.13; en la que se observa que el mayor índice de área foliar (7.37) acumulado durante el ciclo del cultivo se manifestó en el tratamiento cinco ( $a_2b_1$ ) a los 77 días después de la siembra; ésta se redujo en un 6.7 por ciento en el tratamiento cuatro ( $a_1b_4$ ); en tanto que en el tratamiento once ( $a_3b_3$ ) el índice de área foliar se redujo un 11.5 por ciento.

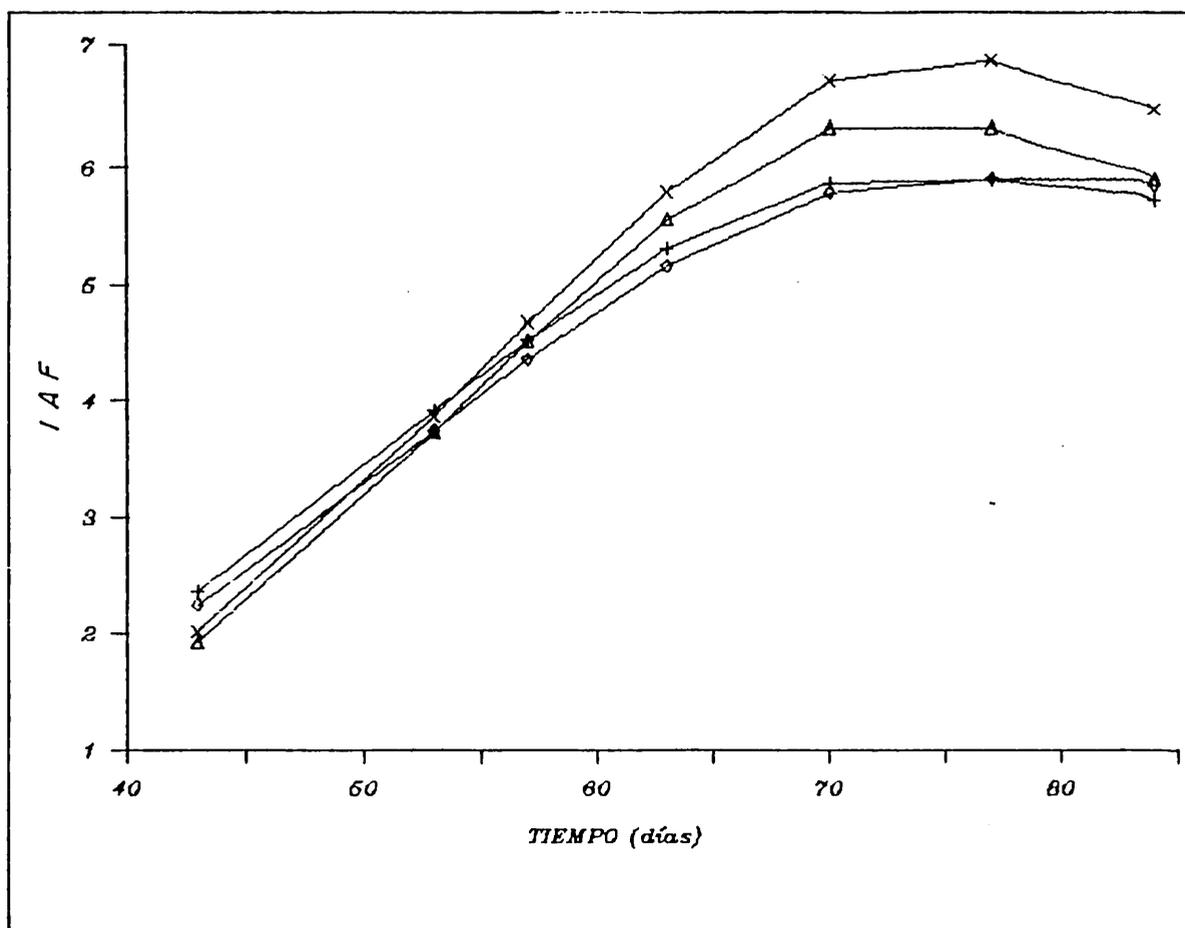


Figura 4.10. Curvas ajustadas de índice de área foliar con respecto a los días después de la siembra del nivel del 75 por ciento de la humedad aprovechable. El tratamiento uno ( $a_1b_1$ ) se representa por +, el dos ( $a_1b_2$ ) por ◇, el tres ( $a_1b_3$ ) por Δ y el cuatro ( $a_1b_4$ ) por X.

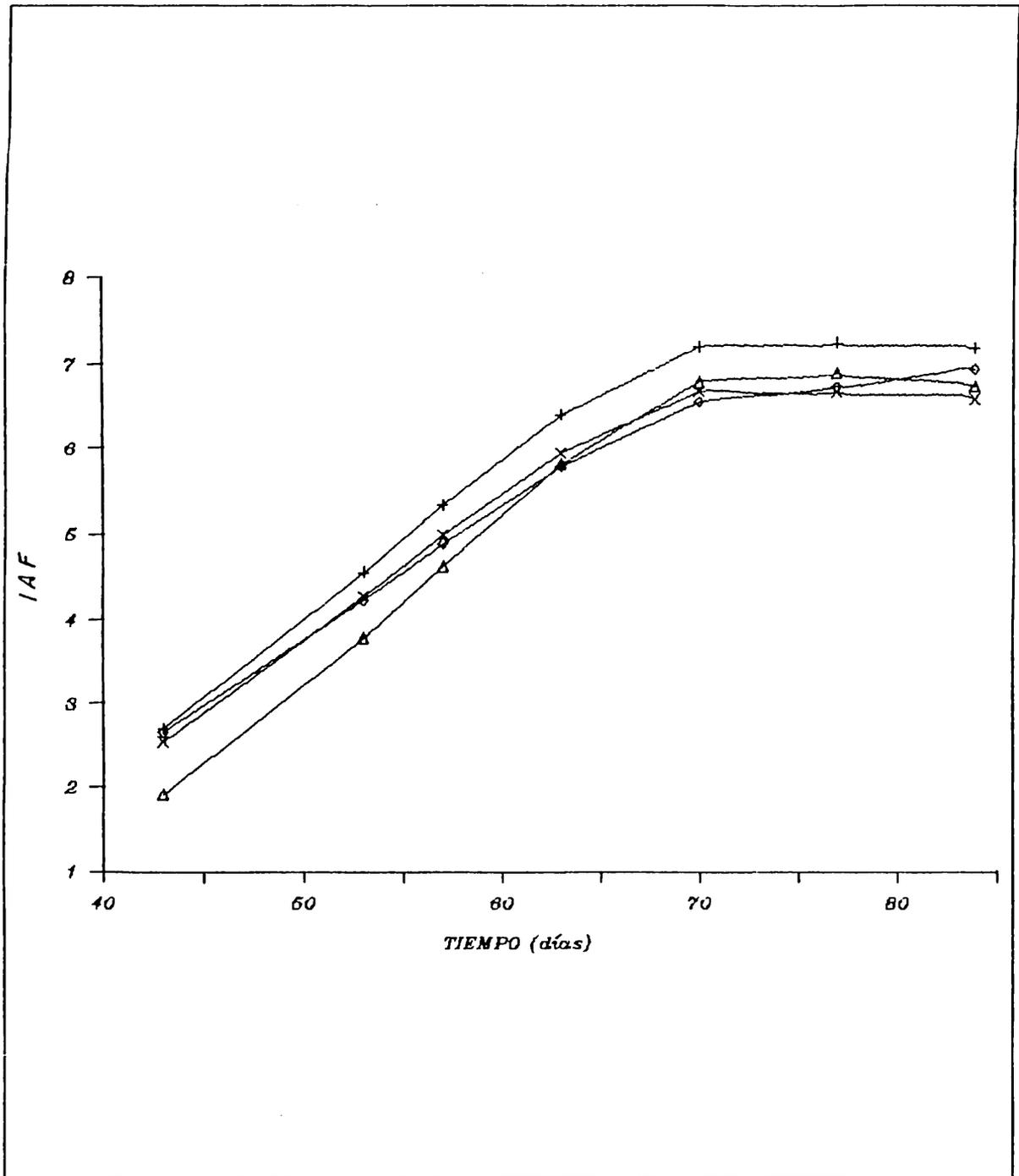


Figura 4.11. Curvas ajustadas de índice de área foliar con respecto a los días después de la siembra del nivel del 50 por ciento de la humedad aprovechable. El tratamiento cinco ( $a_2b_1$ ) se representa por +, el seis ( $a_2b_2$ ) por ◊, el siete ( $a_2b_3$ ) por Δ y el ocho ( $a_2b_4$ ) por X.

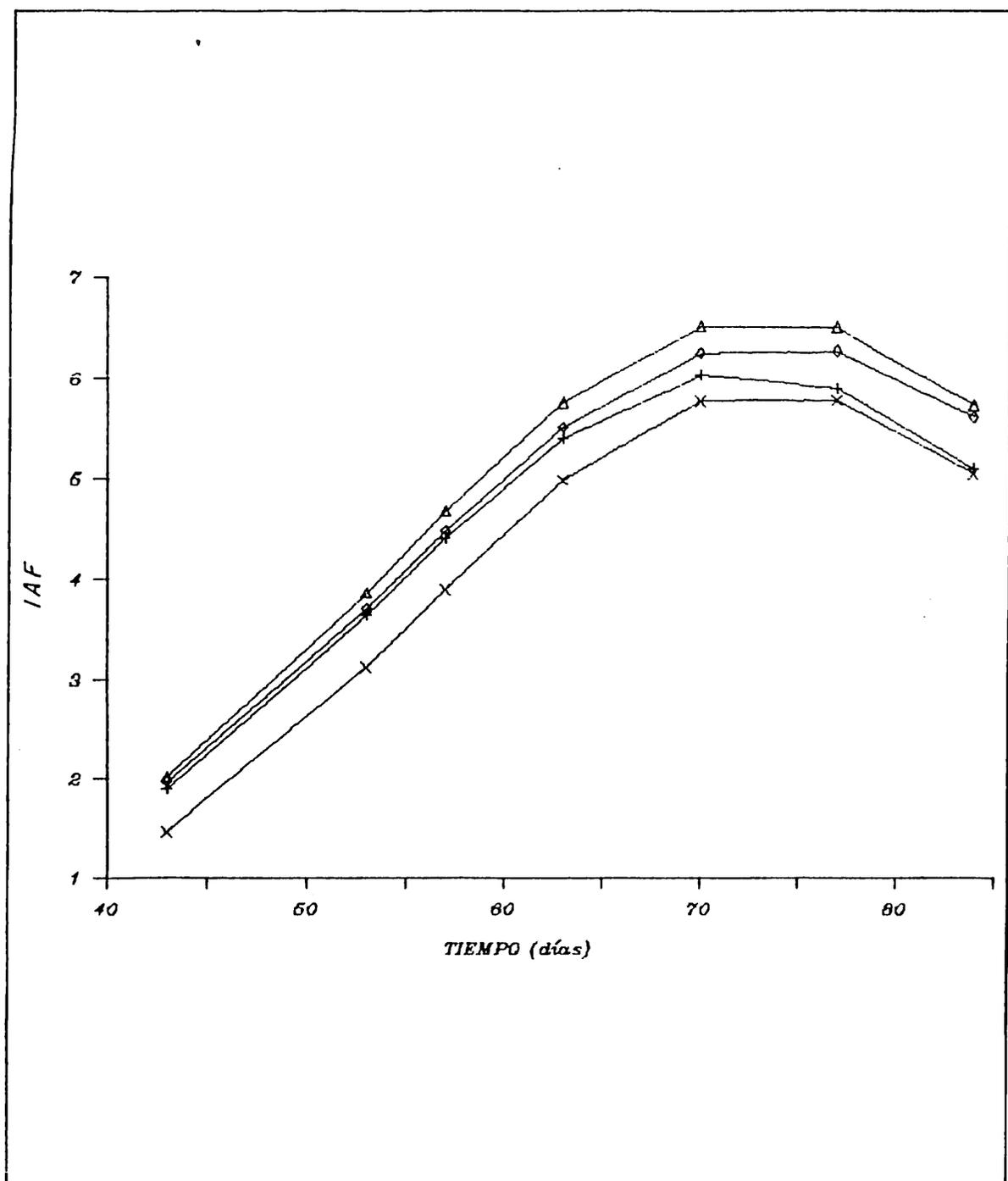


Figura 4.12. Curvas ajustadas de índice de área foliar con respecto a los días después de la siembra del nivel del 25 por ciento de la humedad aprovechable. El tratamiento nueve ( $a_3b_1$ ) se representa por +, el diez ( $a_3b_2$ ) por ◊, el once ( $a_3b_3$ ) por Δ y el doce ( $a_3b_4$ ) por X.

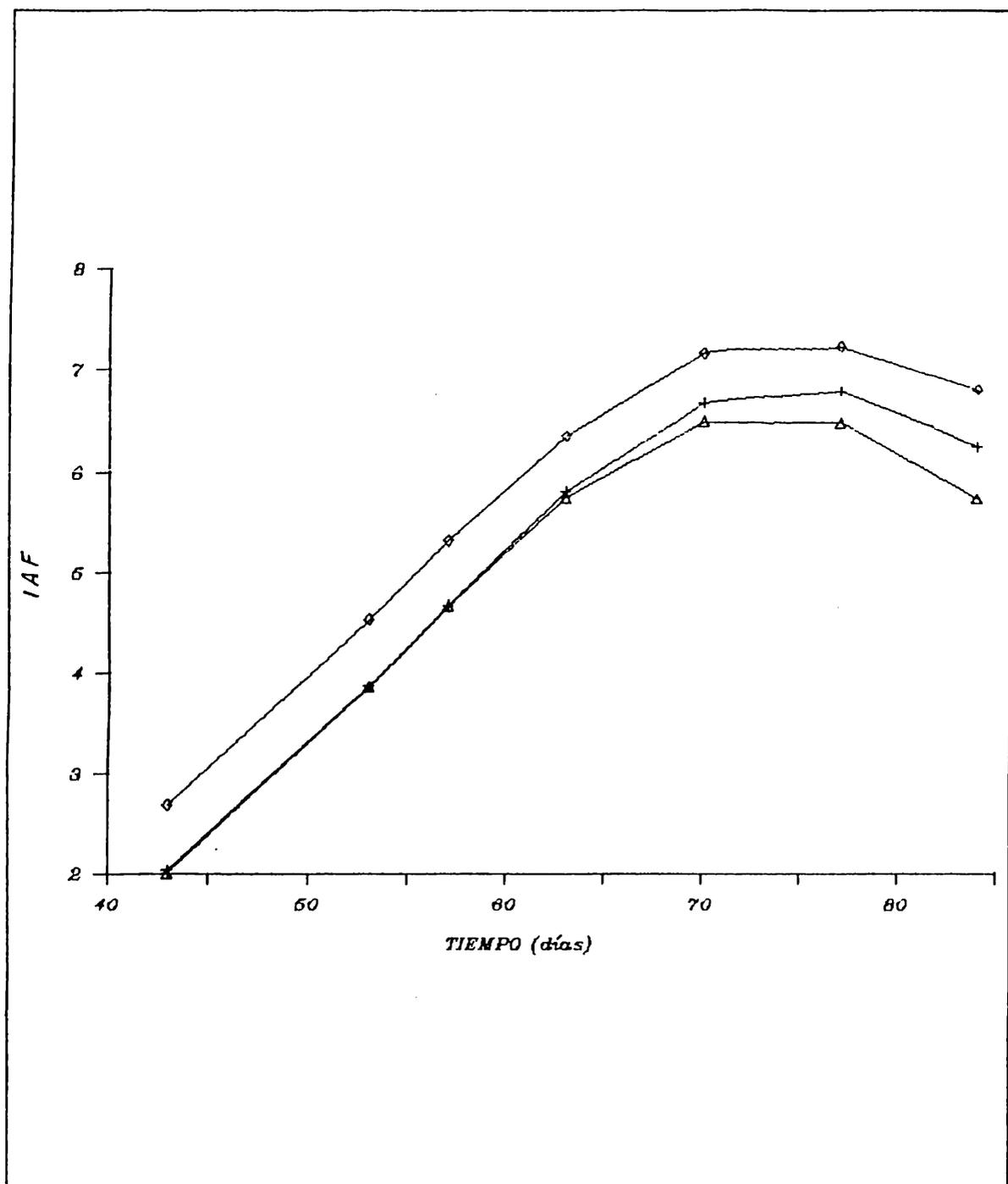


Figura 4.13. Curvas ajustadas de índice de área foliar con respecto a los días después de la siembra. El tratamiento cuatro (a<sub>1</sub>b<sub>4</sub>) se representa por +, el cinco (a<sub>2</sub>b<sub>1</sub>) por ◇ y el once (a<sub>3</sub>b<sub>3</sub>) por Δ.

## Modelos para la Estimación de la Evapotranspiración del Cultivo

Con el propósito de obtener una metodología que permita predecir el comportamiento del balance de humedad se probaron por una parte, la metodología de Reddy (1983) y por otra, la propuesta por Palacios (1981). A manera de comparación, se presentan los resultados de los tratamientos, considerando la capa de suelo de 0-80 que presentó mayor movimiento de agua. En la Figura 4.14 se muestra la evolución del tratamiento del 75 por ciento de la humedad aprovechable donde se aprecia el comportamiento de lo observado con el muestreo gravimétrico y sus estimaciones, donde se distingue que Reddy (1983) sobreestima lo mismo que Palacios (1981); sin embargo en el caso de este último las diferencias con respecto a lo observado son mayores.

Los resultados del tratamiento del 50 por ciento de la humedad aprovechable se presentan en la Figura 4.15 en donde es posible visualizar que tanto Reddy (1983) como Palacios (1981) continúan sobreestimando como en el caso anterior.

El tratamiento del 25 por ciento de la humedad aprovechable dio por resultados lo mostrado en la Figura 4.16 donde se aprecia que Palacios (1981) sobreestima durante los 89 días considerados; mientras que Reddy (1983) subestima durante los primeros 60 días.

La información total de los tres tratamientos dio una cantidad de 28 datos de muestreos gravimétricos; los

cuales, al ser sometidos a una regresión lineal con respecto a la humedad estimada por los dos modelos mencionados resultó lo mostrado en el Cuadro 4.8, cuyas gráficas se observan en las Figuras 4.17 y 4.18 al respecto.

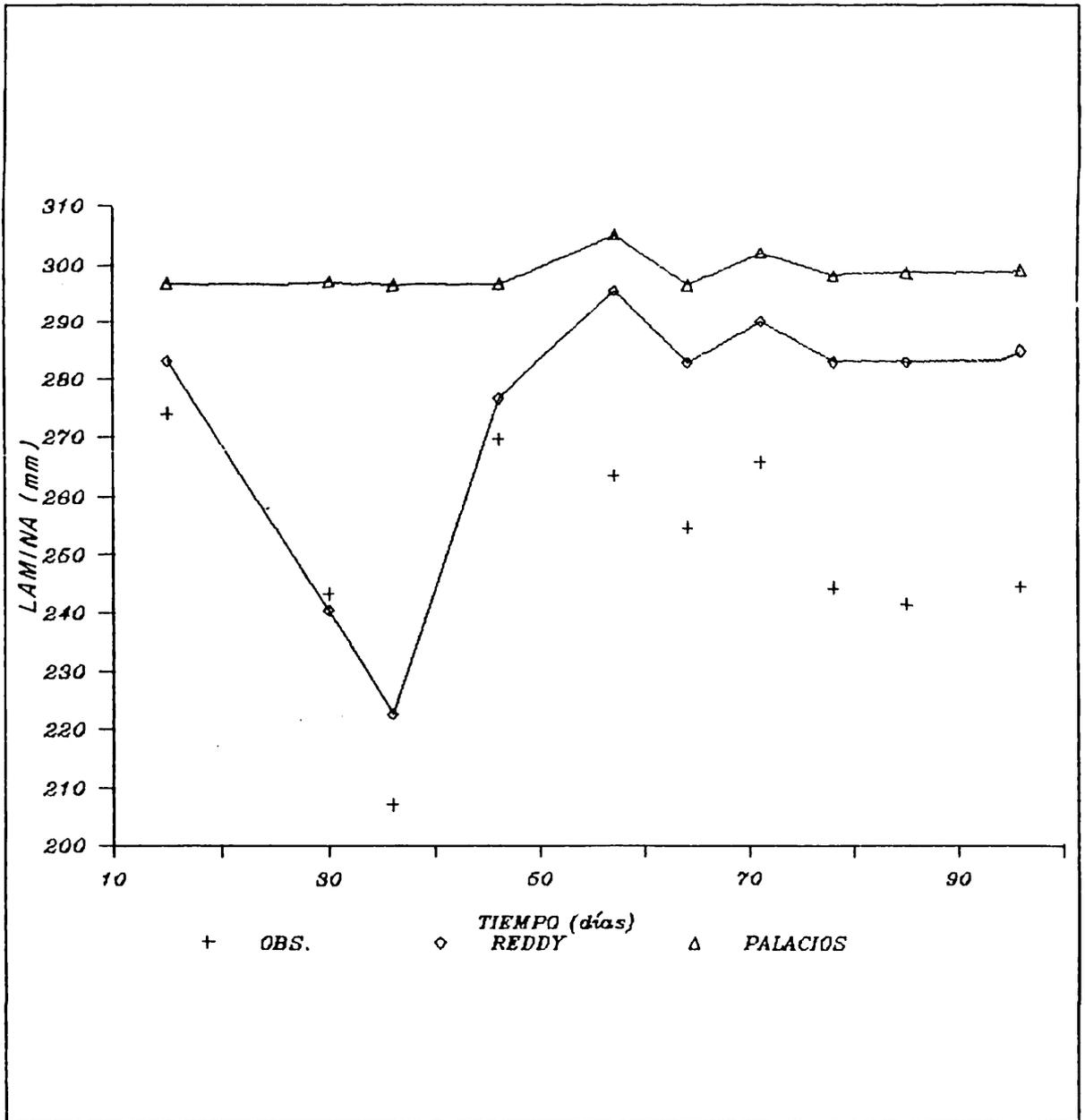


Figura 4.14. Comparación del consumo de agua del tratamiento del 75 por ciento de la humedad aprovechable.

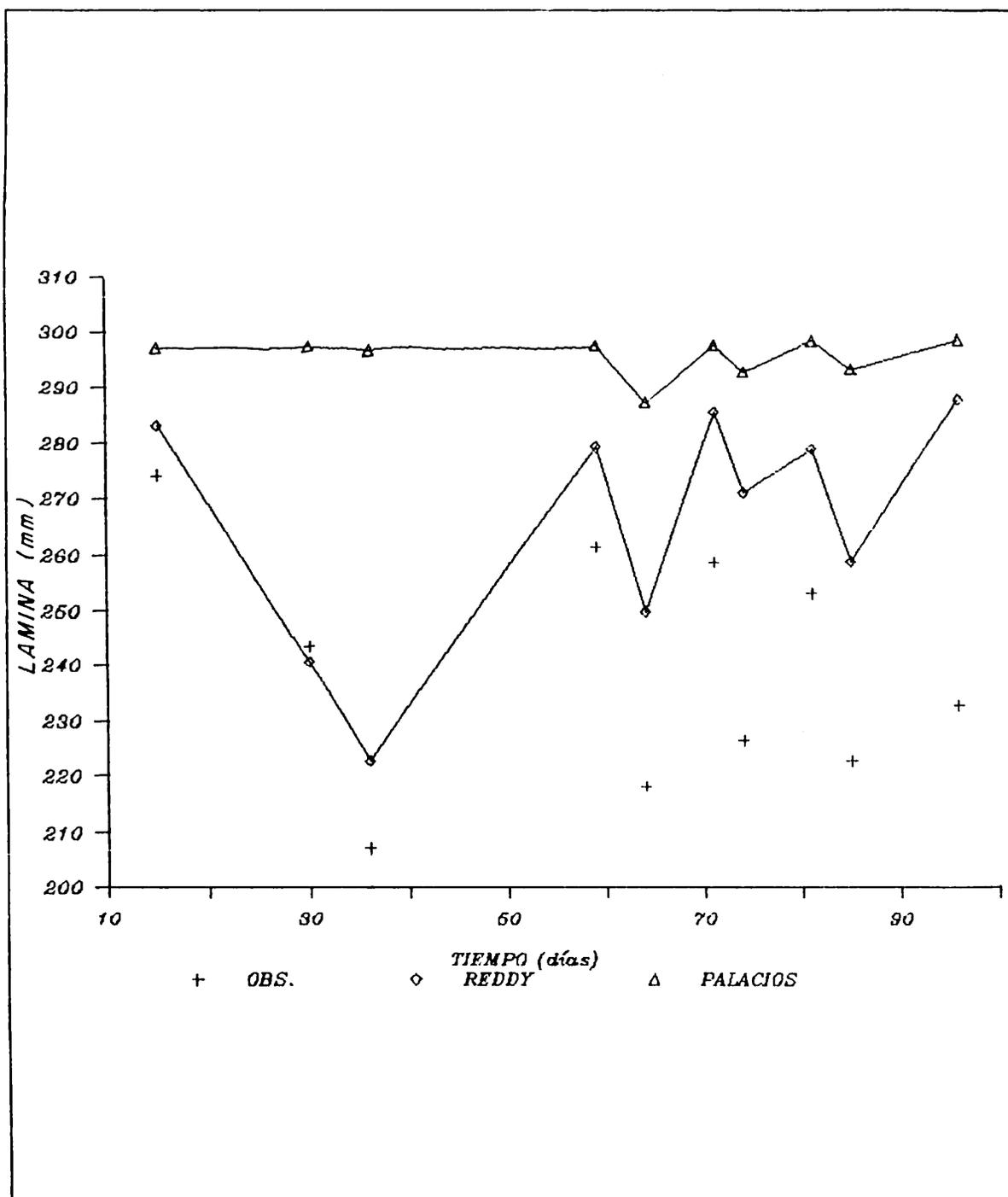


Figura 4.15. Comparación del consumo de agua del tratamiento del 50 por ciento de la humedad aprovechable.

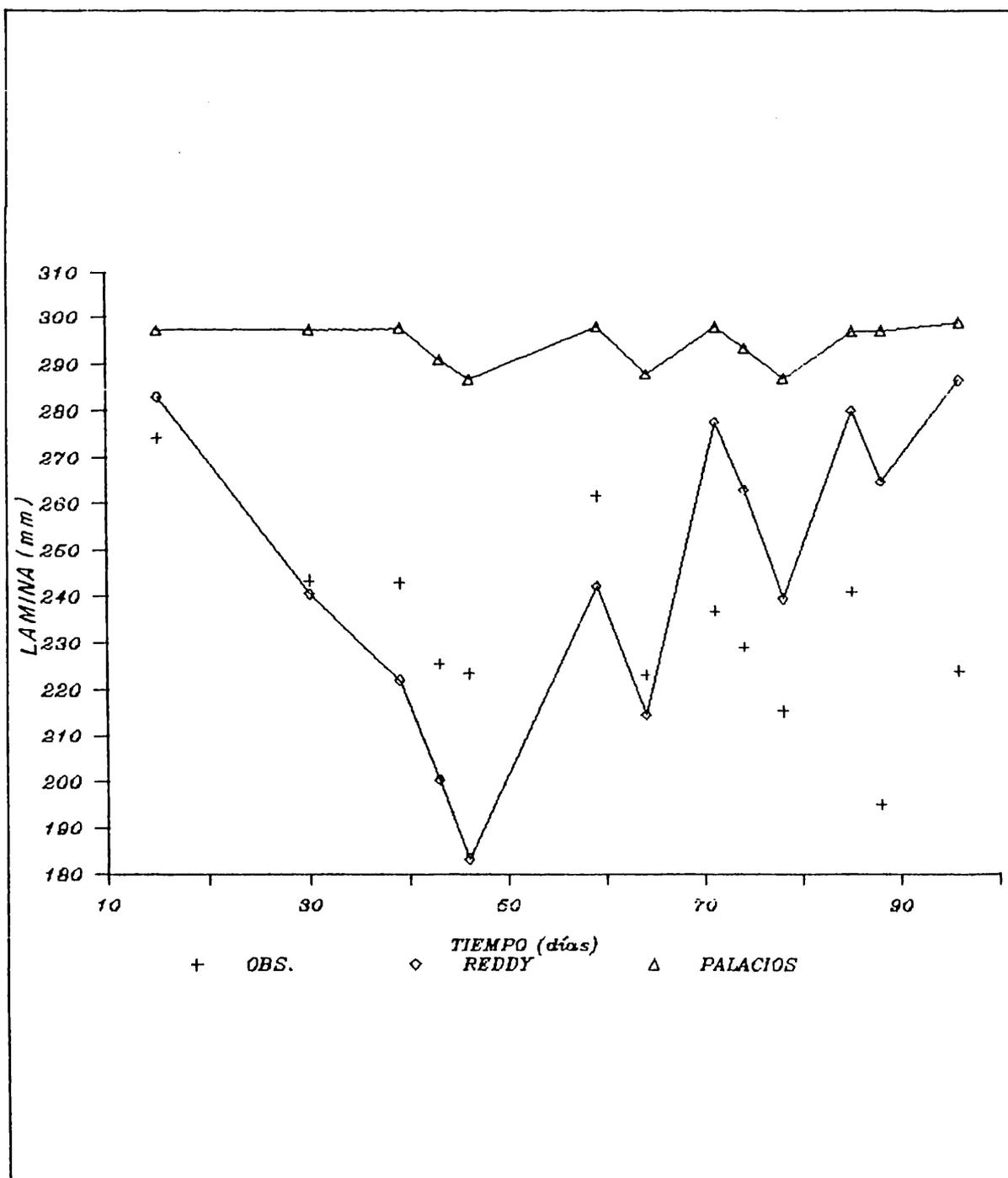


Figura 4.16. Comparación del consumo de agua del tratamiento del 25 por ciento de la humedad aprovechable.

Cuadro 4.8. Regresiones lineales de los modelos de simulación de la evolución del consumo de agua.

Parámetros	Reddy	Palacios
Constante	92.6395	273.9
Err std de y Est	27.1043	3.6824
R al cuadrado	0.2201	0.2186
No.de observaciones	28	28
Grados de libertad	26	26
Coficiente(s) x	0.7072	0.0956
Err std de coef.	0.2610	0.0354

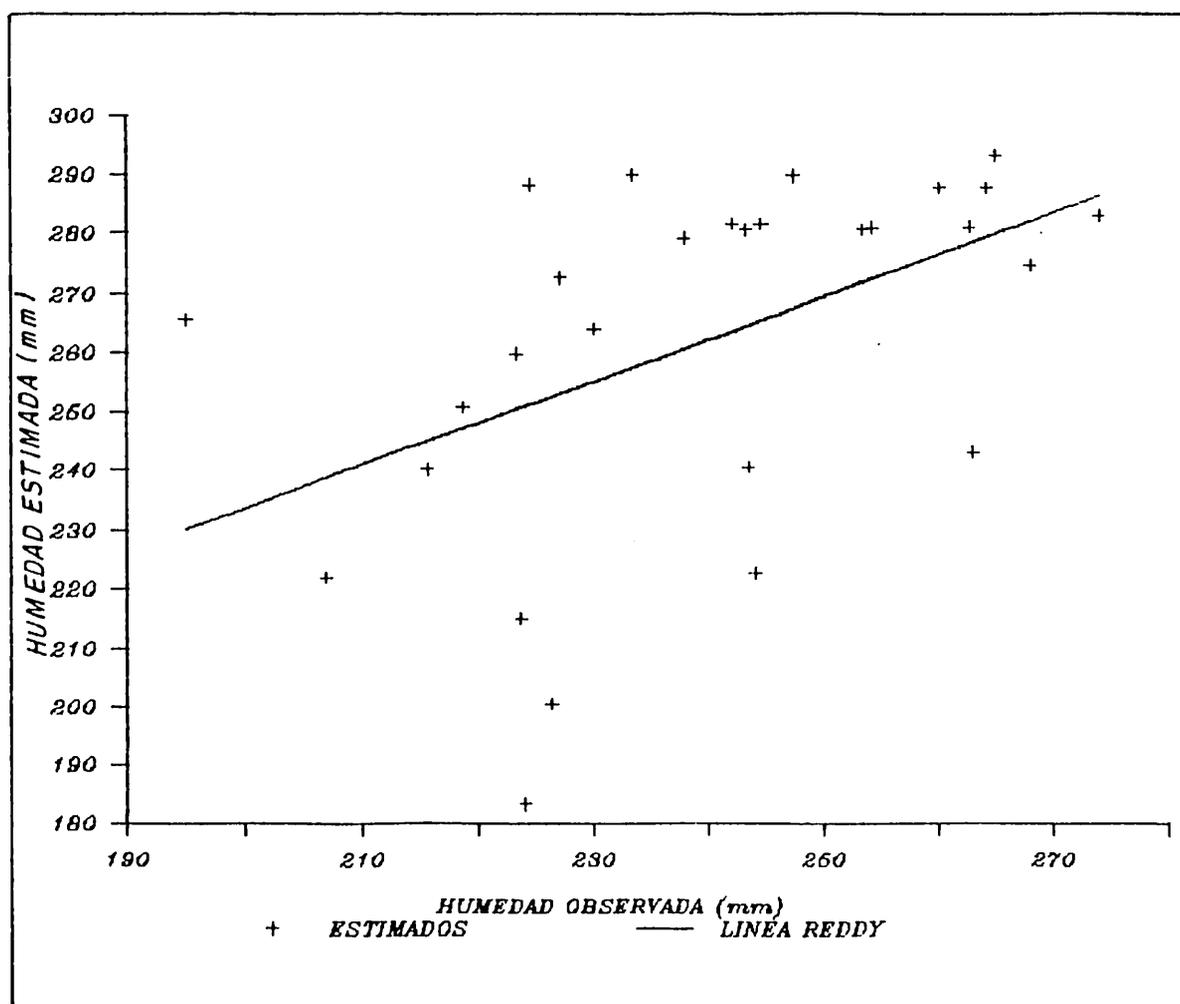


Figura 4.17. Ajuste del modelo de Reddy para 28 datos

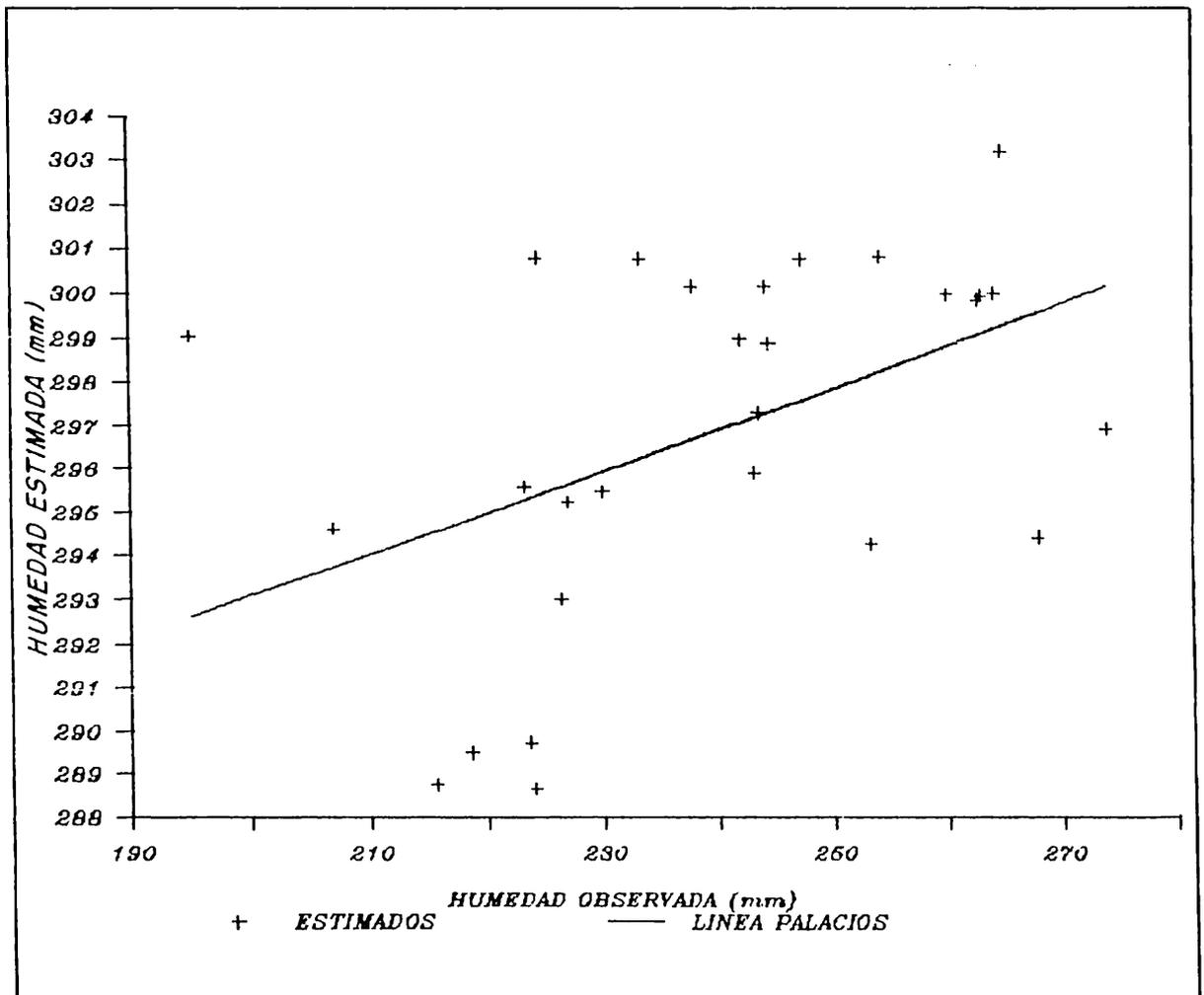


Figura 4.18. Ajuste del modelo de Palacios para 28 datos

### Eficiencia en el uso de Agua

En el Cuadro 4.9 se presentan los resultados de la eficiencia en el uso del agua en toneladas por hectárea de forraje verde con respecto al consumo de agua. En el Cuadro 4.10 se presenta el análisis de varianza para la eficiencia en el uso de agua resultando que hubo diferencia en cuanto a los tratamientos de humedad; el tratamiento nueve ( $a_3b_1$ ) resultó con mayor eficiencia (15 por ciento).

Cuadro 4.9. Eficiencia en el uso de agua resultante del experimento.

Factores		Repetición			
a	b	1	2	3	4
1	1	11.31	9.92	9.92	6.94
1	2	11.31	9.72	12.90	7.74
1	3	8.13	9.12	8.93	9.12
1	4	8.33	10.32	11.71	9.12
2	1	14.74	12.07	13.67	13.94
2	2	15.82	13.94	13.14	15.82
2	3	17.43	11.26	9.11	11.53
2	4	15.82	9.65	16.36	14.48
3	1	17.16	17.72	12.38	12.66
3	2	13.78	13.22	12.66	14.07
3	3	13.78	16.04	8.72	14.07
3	4	14.07	12.66	9.84	14.63

Cuadro 4.10. Análisis de varianza de la eficiencia en el uso de agua.

Fuente	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F (tablas)	
					0.05	0.01
Repetición	3	23.528809	7.842936	0.6791		
Factor A	2	168.485352	84.242676	7.2946*	5.14	10.92
Error A	6	69.291504	11.548584			
Factor B	3	14.455078	4.818359	1.5645	2.96	4.60
Interacción	6	13.886719	2.314453	0.7515	2.46	3.56
Error B	27	83.152832	3.079735			
Total	47	372.800293				

## DISCUSION

Al hacer un análisis del coeficiente de variación de los rendimientos por tratamiento resulta que un 33.33 por ciento del total quedó por encima del 20 por ciento que es el límite superior aceptable. Es decir, los valores de las medias resultan similares lo cual influye para que el análisis de varianza indique que no hay diferencia significativa entre tratamientos; esta misma variación (mayor del 20 por ciento) se presentó en el número de plantas por parcela.

Con respecto a la altura en los tratamientos uno ( $a_1b_1$ ), dos ( $a_1b_2$ ), tres ( $a_1b_3$ ) y cuatro ( $a_1b_4$ ) el crecimiento acumulativo semanal fue muy similar hasta el día 63 después de la siembra; posteriormente se presentaron diferencias y resultó el tratamiento cuatro ( $a_1b_4$ ) con la mayor altura, ésto se debió posiblemente a que este tratamiento fue el que tuvo mayor consumo de agua. Los tratamientos en los cuales se aplicó el polímero fueron el uno ( $a_1b_1$ ), dos ( $a_1b_2$ ) y tres ( $a_1b_3$ ) que resultaron con menor altura probablemente a que el polímero no tuvo ningún efecto porque nunca se encontró la planta sometida a déficit hídrico como se puede observar en el movimiento del agua en el suelo (Figura 4.1) donde la humedad en los estratos se mantuvo sobre el 50 por ciento de la humedad

aprovechable. Con respecto al índice de área foliar el comportamiento fue similar como se aprecia en la Figura 4.8.

En los tratamientos cinco ( $a_2b_1$ ), seis ( $a_2b_2$ ), siete ( $a_2b_3$ ) y ocho ( $a_2b_4$ ) los cuales estuvieron sometidos al mismo nivel (50 por ciento de humedad aprovechable), el crecimiento acumulativo semanal fue casi igual para los tratamientos cinco ( $a_2b_1$ ) y ocho ( $a_2b_4$ ) en todo el ciclo del cultivo y para el tratamiento siete ( $a_2b_3$ ) a partir del día 63 después de la siembra en adelante; sin embargo, en esta fecha fue cuando se presentó la mayor diferencia de altura entre los tratamientos cinco ( $a_2b_1$ ) y ocho ( $a_2b_4$ ) debido posiblemente al efecto del polímero en cuanto a una mayor disponibilidad del agua para el cultivo en el tratamiento cinco ( $a_2b_1$ ) que es el que presenta mayor altura en esta fecha; por otra parte, esto mismo sucede en el índice de área foliar lo cual se puede verificar en la Figura 4.9.

En los tratamientos nueve ( $a_3b_1$ ), diez ( $a_3b_2$ ), once ( $a_3b_3$ ) y doce ( $a_3b_4$ ) el crecimiento acumulativo semanal fue mayor en el primero con respecto al tratamiento once ( $a_3b_3$ ) hasta el día 63 después de la siembra; de esta fecha en adelante el tratamiento once ( $a_3b_3$ ) presentó mayor altura; donde el efecto del polímero posiblemente produjo disponibilidad de agua para el cultivo. Cabe aclarar que en cuanto al índice de área foliar sucede esto mismo lo cual se aprecia en la Figura 4.10.

De acuerdo a las curvas presentadas en la Figura 4.7 el crecimiento acumulativo semanal fue muy similar en las plantas de los tratamientos cuatro ( $a_1b_4$ ) y cinco ( $a_2b_1$ ); la altura final en promedio fue prácticamente igual (257 cm). Sin embargo, el tratamiento cinco ( $a_2b_1$ ) siempre presentó mayor altura. Es conveniente resaltar que el tratamiento cuatro ( $a_1b_4$ ) fue el que tuvo mayor consumo de agua, de tal manera que se puede ver en el tratamiento cinco ( $a_2b_1$ ) el efecto del polímero en cuanto a la disponibilidad de agua para el cultivo lo cual se refleja también en el índice de área foliar donde en dicho tratamiento resultó mayor en un 11.5 por ciento con respecto al de menor cantidad. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Narro (1976), Vega (1987).

Con cuanto a la evapotranspiración la prueba de ajuste de los modelos utilizados con respecto a la estimación del consumo de agua mediante una regresión lineal (Cuadro 4.8) indica que el modelo de Reddy (1983) permite simular con mayor aproximación dicho evento, ya que la constante es menor y el coeficiente se acerca más a la unidad. Por otro lado, la subestimación es mucho menor que la sobreestimación en el modelo de Palacios (1981) como se puede apreciar en las figuras correspondientes. Coincide con lo encontrado por Ramírez (1989).

Los tratamientos sometidos a los niveles del 25 y 50 por ciento de humedad aprovechable resultaron más eficientes en el uso del agua que el tratamiento del nivel del 75 por ciento debido a que en este último el consumo de agua fue mayor que en los anteriores; si se toma en cuenta el análisis de varianza que indica que los rendimientos fueron similares en todos los tratamientos es posible inferir que debido al efecto del polímero se tuvo una mayor eficiencia en el uso de agua.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este estudio se concluye lo siguiente:

Con el nivel del 75 por ciento de humedad aprovechable no es necesario la aplicación del polímero pues su efecto se inhibe al no presentarse déficit hídrico en la planta.

Con un nivel del 50 por ciento de humedad aprovechable y una concentración de 5.0 kg/ha del polímero se obtuvieron los mejores resultados en cuanto al índice de área foliar y altura de la planta.

Unicamente los tratamientos tres ( $a_1b_3$ ), siete ( $a_2b_3$ ) y doce ( $a_3b_4$ ) presentaron rendimientos abajo de la media considerada en la Comarca Lagunera (43 ton/ha de forraje verde); el resto de los tratamientos tuvieron rendimientos arriba de esta media, salvo el tratamiento once ( $a_3b_3$ ) que tuvo un valor similar a la media mencionada.

La estimación de la evapotranspiración es posible simularla a través del modelo de Reddy (1983).

Con un alto nivel de humedad no es necesario la aplicación del polímero pues su efecto se inhibe al no presentarse déficit hídrico en la planta. A medida que el grado de déficit hídrico en la planta aumenta, el efecto del polímero es benéfico porque hay una mayor disponibilidad de agua para el cultivo. A menor grado de déficit la concentración del polímero requerido es menor y viceversa.

Por otra parte, el presente trabajo se clasifica como una investigación de iniciación ya que a la fecha en nuestro país no existe información al respecto, por lo que los resultados obtenidos marcan la pauta para futuros trabajos en los que deberán considerarse otros rangos de concentración y su verificación de la bondad de este polímero con cultivos.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el campo del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), localizado en la margen derecha del Canal Sacramento, km 6.5 en Gómez Palacio, Dgo; con 26° latitud norte, longitud de 104° W y una altitud de 1135 msnm.

Se evaluaron cuatro dosis del polímero (poliacrilamida) en el suelo a diferentes niveles de humedad sobre el rendimiento de maíz (Zea mays, L.), variedad B-555 y sus componentes (altura, IAF). El momento del riego se determinó en base al potencial promedio ponderado.

Además, se evaluaron dos modelos para estimar la - evapotranspiración real del cultivo. Los modelos probados fueron el de Palacios (1981) y Reddy (1983) y con este último es posible simular el fenómeno de evapotranspiración para maíz.

Los resultados de este trabajo indican que con un alto nivel de humedad no es necesario la aplicación del polímero pues su efecto se inhibe al no presentarse déficit hídrico en la planta; conforme baja el nivel de humedad la concentración del polímero requerido es mayor.

## LITERATURA CITADA

- Bear, F.E. 1952. Synthetic soil conditioners. *Soil Science* 73: 419-492 (Special Issue).
- Chang, J. 1968. *Climate and Agriculture*. Ann ecological survey aldrine Publishing, Co. Chicago. 145-148.
- Cook, D.F. and S.D. Nelson. 1986. Effect of polyacrylamide on seedling emergence in crust-forming soils. *Soil Science* 141 (5): 328-333.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1983. *Relación entre Suelo-Planta-Agua*. 3a. edición. Editorial Diana. México, D.F. 99 p.
- Doorembos, J. y A.H. Kassam. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 190-212 p.
- Eck, H.V. 1986. Effects of water deficits on yield, yield components, and water use efficiency on irrigated corn. *Agron. J.* 78: 1035-1040.
- Fereres, E; E. Acevedo, D.W. Henderson and T.C. Hsiao. 1978. Seasonal Changes in water potential and turgor maintenance in sorghum and maize under water stress. *Plant Physiology* 44: 261-267 p.
- Fisher, R.A. and N.C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Ann Rev. Plant. Physiol.* 29: 227-317.

- Flesh, T.K. and R.F. Dale. 1987. A leaf area index model for corn with moisture stress reductions. *Agron. J.* 79: 1008-1014.
- France, J. and J.H.M. Thornley. 1984. *Mathematical models in agriculture*. Butterworths. London Boston Durban Singapore Sydney. Toronto Wellington. 75-93 p.
- Froto, M.L. 1987. Cambios de las propiedades hidráulicas en el suelo al usar mejoradores sintéticos. Seminario Técnico PRONAPA-INIFAP-SARH. vol 4. Núm 5. 126-140.
- Hanks, R.J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agron. J.* 66: 660-665.
- Hanway, J.J. 1971. How a corn plant develops, special report No. 48. Iowa State University of Science and technology. 26 p.
- Jensen, M.E. 1968. Water consumption by agricultural plants. In T.T. Koslowski (ed). *Water deficit and plant growth*. Academic Press New York and London U.S.A. 2: 1-22 p.
- Jurgens, S.K.; R.R. Johnson and J.S. Boyer. 1978. Dry matter production and traslocation in maiza subyec ted to droughth during grain fill. *Agron. J.* 70: 678-682.
- Kramer, P.J. 1963. Water stress and plant growth. *Agron. J.* 55: 31-32 p.
- \_\_\_\_\_ 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas una síntesis moderna. Edumex, S.A. 538 p.
- Leeper, R.A.; E.C.A. Runge and W.M. Walker. 1974. Effect of plant-available sored soil moisture on corn yield. 1. Constant climatic conditions. *Agron. J.* 66: 723-727.

- Mitchell, A.R. 1986. Polyacrylamide application in irrigation water to increase infiltration. *Soil Science* 141 (5): 353-358.
- Narro, E.A. 1976. Evolution of dry matter distribution and yield of maize (Zea mays, L.) as affected by water stress under field conditions. Tesis Doctoral University of Davis, California. 130 p.
- Palacios, V.E. y G. Martínez. 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, México. 149 p.
- Palacios, V.E. 1981. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuando y el cuanto regar. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados (Recopilación de Artículos Publicados) Chapingo, México. 5-20 p.
- Ramírez, C.E. 1989. Respuesta del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris) a la sequía inducida. Tesis de Maestría. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 64 p.
- Reddy, S.J. 1983. A simple method of estimating the soil water balance. *Agriculture Meteorology* 28: 1-17 p.
- Rojas, G.M. 1972. Fisiología vegetal aplicada 2da. ed. Editorial Mc. Graw-Hill, México. 120 p.
- Rodríguez, G.M.A. 1985. Efecto del estrés de humedad sobre el desarrollo, rendimiento y evapotranspiración del maíz (Zea mays, L.). Tesis de Licenciatura UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 106 p.
- Salisbury, F.B. and C. Ross. 1978. *Plant Physiology*. 2a. Edición Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont, California. 224-332 p.

- Stewart, J.I.; R.D. Misra, W.O. Pruitt and R.M. Hagan. 1975. Irrigating corn and grain sorghum with a deficient water supply. Transactions of the ASAE. 18 (2): 270-280. Michigan, U.S.A.
- Vega, S.P. 1987. Estudio comparativo de dos mejoradores del suelo en Híbridos del maíz (Zea mays, L.), bajo diferentes condiciones de humedad. Tesis de Maestría. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 175 p.
- Villa, C.M. 1987. Potencial del agua en la hoja. Conductancia estomática y producción de materia seca en el cultivo de cebada (Hordeum vulgare L.) en función de la disponibilidad de agua en el suelo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 147 p.
- Wallace, A.; G.A. Wallace and A.M. AbouZamzam. 1986. Amelioration of sodic soils with polymers. Soil Science 141 (5): 359-362.
- Wallace, A. and S.D. Nelson. 1986. Soil conditioners. Soil Science 141 (5): 311-397 p.
- Wallace, A. and G.A. Wallace. 1986a. Effects of very low rates of synthetic soil conditioners on soils. Soil Science 141 (5): 324-327.
- 
- b. Effect of polymeric soil conditioners on emergence of tomato seedlings. Soil Science 141 (5): 321-323.
- 
- c. Effect of soil conditioners on emergence and growth of tomato, cotton, and lettuce seedlings. Soil Science 141 (5): 313-316.

... planta (cm)  
... de la ...

...  
... 1905 ...

... 1905 ...

... 1905 ...

265  
A P E N D I C E  
... 1905 ...

294  
... 1905 ...

297  
... 1905 ...

298  
... 1905 ...

Cuadro A.1. Modelos ajustados de altura de planta (cm)  
con respecto a los días después de la siembra.

Tratamiento	E c u a c i ó n
1	$\text{ALT} = \frac{244}{1+2.2\text{E}+14*\text{DDS}^{-8.297}}$
2	$\text{ALT} = \frac{258}{1+2.8\text{E}+14*\text{DDS}^{-8.322}}$
3	$\text{ALT} = \frac{240}{1+4.8\text{E}+14*\text{DDS}^{-8.484}}$
4	$\text{ALT} = \frac{265}{1+1.9\text{E}+14*\text{DDS}^{-8.223}}$
5	$\text{ALT} = \frac{264}{1+1.8\text{E}+14*\text{DDS}^{-8.233}}$
6	$\text{ALT} = \frac{252}{1+1.2\text{E}+13*\text{DDS}^{-7.533}}$
7	$\text{ALT} = \frac{261}{1+1.2\text{E}+16*\text{DDS}^{-9.234}}$

## Cuadro A.1. Continuación.

Tratamiento	E c u a c i ó n
8	$\text{ALT} = \frac{265}{1+3.4\text{E}+13*\text{DDS}^{-7.808}}$
9	$\text{ALT} = \frac{245}{1+5.9\text{E}+13*\text{DDS}^{-7.952}}$
10	$\text{ALT} = \frac{246}{1+2.9\text{E}+13*\text{DDS}^{-7.729}}$
11	$\text{ALT} = \frac{252}{1+6.0\text{E}+13*\text{DDS}^{-7.913}}$
12	$\text{ALT} = \frac{235}{1+1.6\text{E}+15*\text{DDS}^{-8.752}}$

Cuadro A.2 . Modelos ajustados de índice de área foliar con respecto a los días después de la siembra.

Tratamiento	E c u a c i o n e s
1	$IAF = \text{Exp}(-3.4954 + 0.1431 * DDS - 0.00097 * DDS^2)$
2	$IAF = \text{Exp}(-3.5168 + 0.1411 * DDS - 0.00094 * DDS^2)$
3	$IAF = \text{Exp}(-5.1032 + 0.1895 * DDS - 0.00129 * DDS^2)$
4	$IAF = \text{Exp}(-4.7678 + 0.1785 * DDS - 0.00119 * DDS^2)$
5	$IAF = \text{Exp}(-3.4665 + 0.1448 * DDS - 0.00096 * DDS^2)$
6	$IAF = \text{Exp}(-2.8090 + 0.1215 * DDS - 0.00078 * DDS^2)$
7	$IAF = \text{Exp}(-5.0224 + 0.1844 * DDS - 0.00122 * DDS^2)$
8	$IAF = \text{Exp}(-3.49056 + 0.1441 * DDS - 0.00096 * DDS^2)$
9	$IAF = \text{Exp}(-5.2438 + 0.1944 * DDS - 0.00134 * DDS^2)$
10	$IAF = \text{Exp}(-4.8731 + 0.1819 * DDS - 0.00123 * DDS^2)$
11	$IAF = \text{Exp}(-5.02608 + 0.1882 * DDS - 0.00128 * DDS^2)$
12	$IAF = \text{Exp}(-6.2226 + 0.2168 * DDS - 0.00147 * DDS^2)$

Cuadro A.3. Evaporación (mm) del tanque tipo "A" registrada en la estación climatológica del CENID-RASPA en el ciclo de cultivo.

DIA	DDS	JUNIO	DDS	JULIO	DDS	AGOSTO	DDS	SEPT.
1	-	-	7	10.23	38	5.67	69	7.85
2	-	-	8	7.23	39	5.38	70	7.01
3	-	-	9	4.80	40	7.52	71	3.96
4	-	-	10	3.07	41	7.52	72	5.56
5	-	-	11	7.40	42	7.06	73	6.58
6	-	-	12	7.83	43	8.36	74	6.12
7	-	-	13	6.40	44	9.87	75	6.34
8	-	-	14	6.00	45	5.28	76	8.18
9	-	-	15	8.10	46	3.70	77	4.64
10	-	-	16	8.98	47	6.45	78	6.76
11	-	-	17	8.21	48	4.35	79	4.94
12	-	-	18	7.66	49	4.92	80	4.82
13	-	-	19	5.88	50	5.88	81	3.58
14	-	-	20	8.08	51	6.59	82	4.95
15	-	-	21	7.05	52	3.32	83	4.80
16	-	-	22	4.57	53	3.00	84	4.67
17	-	-	23	4.50	54	4.67	85	4.83
18	-	-	24	8.04	25	4.15	86	5.45
19	-	-	25	7.24	56	4.45	87	4.69
20	-	-	26	4.64	57	7.19	88	3.86
21	-	-	27	6.90	58	6.56	89	2.08
22	-	-	28	7.42	59	5.85	90	1.58
23	-	-	29	5.58	60	7.27	91	1.51
24	-	-	30	6.78	61	8.05	92	3.05
25	1	10.32	31	5.43	62	8.30	93	3.87
26	2	9.18	32	7.35	63	7.71	94	4.87
27	3	8.85	33	5.49	64	7.73	95	4.86
28	4	10.18	34	9.46	65	7.06	96	7.30
29	5	10.14	35	7.39	66	6.68	97	4.70
30	6	9.98	36	4.40	67	6.21	98	2.80
31	-	-	37	4.54	68	7.37	-	-