

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**SIMULACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, MATERIA SECA  
Y RENDIMIENTO DE GRANO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO  
FERTI-IRRIGACIÓN.**

**Por:**

**MARCOS SERRANO JORDÁN**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Mayo de 2001.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**TESIS**

**SIMULACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, MATERIA SECA  
Y RENDIMIENTO DE GRANO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO  
FERTI-IRRIGACIÓN.**

**PRESENTADA POR :**

**MARCOS SERRANO JORDÁN**

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito**

**Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN**

**ASESOR PRINCIPAL**

---

**Dr. Raúl Rodríguez García**

---

**Dra. Diana Jasso Cantú  
ASESOR**

---

**Ing. Carlos Rojas Peña  
ASESOR**

**Coordinador de la División de Ingeniería**

---

**Ing. Jesús R. Valenzuela García**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; Mayo del 2001**

## DEDICATORIAS

### A DIOS NUESTRO SEÑOR

Que me dio la capacidad intelectual y fortaleza para salir siempre adelante en los momentos buenos y malos en los cuales me ha puesto a prueba.

### CON PROFUNDO AMOR Y RESPETO A MIS PADRES

**CENOVIO SERRANO DOMÍNGUEZ Y**

**EUGENIA JORDÁN VILLALDAMA**

Por haberme inculcado esos principios los cuales fueron el pilar para guiarme por un buen camino de la vida y por brindarme su ayuda y comprensión en todo momento de mi vida.

### A MIS HERMANOS

**RAFAEL TURIJAN JORDÁN**

**MARIA DEL ROSARIO SERRANO JORDÁN**

**LEONEL SERRANO JORDÁN**

Por todo el apoyo que me han brindado en cada momento que he necesitado de su ayuda.

### A MI NOVIA

Especialmente dedico este trabajo a la persona que ha sido, es y será mi motivación personal para salir adelante; a ti, **Miriam Valenzuela De León**, por todo el amor, apoyo y comprensión que me has brindado durante todo este tiempo que hemos compartido juntos todos aquellos momentos tan hermosos. *TE AMO.*

## AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Raúl Rodríguez García** por su asesoría en la realización de este trabajo de tesis.

A la **Dra. Diana Jasso Cantú** por su valiosa ayuda en las observaciones de este trabajo.

Al **Ing. Carlos Rojas Peña** por su colaboración en la realización del presente.

A mis amigos: Valentín, Juan de Dios, Santiago, Pablo Gerardo, Felipe, Pablo, Francisco, J. Luz, Daniel, Nellybeth, Xochitl, Guadalupe, Subelda, y a todos los grandes amigos que conozco

#### **AL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

Por brindarme esta formación profesional y en especial a todos mis maestros que con sus experiencia me formaron como profesionista.

## **ÍNDICE GENERAL.**

**Pags.**

<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Objetivo particular.....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 Modelos de simulación.....	3
2.2 EPIC.....	5
2.3 Descripción del modelo EPIC.....	10
2.4 Materia seca.....	14
2.5 Índice de área foliar.....	16
2.6 Riego por goteo.....	17
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	19
3.1 Localización del sitio experimental.....	19
3.2 Clima.....	19
3.3 Tipo de suelo y propiedades físico-químicas.....	19
3.4 Establecimiento del experimento.....	20
3.5 Siembra.....	21
3.6 Material genético.....	22
3.7 Distribución de los tratamientos.....	23
3.8 Labores culturales.....	23
3.9 Medición y control de riegos.....	24
3.9.1 Tensiómetros.....	24
3.9.2 Dispensador de neutrones.....	24
3.9.3 Lamina de riego.....	25
3.10 Fertilización.....	26
3.10.1 Aplicación de fertilizante.....	27
3.11 Parámetros evaluados.....	27

3.11.1 Índice de área foliar.....	27
3.11.2 Materia seca.....	28
3.11.3 Rendimiento.....	28
3.12 Condiciones climáticas.....	29
3.13 Simulación.....	30
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>31</b>
4.1 Índice de área foliar.....	31
4.2 Materia seca acumulada.....	35
4.3 Rendimiento de grano.....	38
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>VI. RESUMEN.....</b>	<b>41</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>43</b>
<b>VIII. APÉNDICE.....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pags
2.1 Secuencia diaria del modelo EPIC.....	12
2.2 Esquema de funcionamiento del submodelo crecimiento vegetal.	13
3.1 Valores de parámetros físicos-químicos del suelo donde se estableció el experimento en el ciclo verano-otoño.....	20

3.2	Especificaciones del fabricante para la cintilla T-Tape Ts .....	21
3.3	Número y fechas de riegos, cantidades aportados en cm y en m <sup>3</sup> /ha en el híbrido AN-445	25
3.4	Número y fechas de riegos, cantidades aportados en cm y en m <sup>3</sup> /ha en el híbrido AN-447	26
3.5	Consumo acumulado durante el ciclo para la densidad de población de 100,000 plantas por hectárea (Karlen <i>et al.</i> , 1987).....	26
3.6	Precipitaciones y temperaturas máximas y mínimas.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pags	
4.1	Índice de área foliar simulado y observado en el híbrido AN-445 durante el desarrollo del cultivo.....	31
4.2	Índice de área foliar simulado y observado en el híbrido AN-447 durante el desarrollo del cultivo.....	32
4.3	Comparación entre valores simulados y observados de IAF para	

los Híbridos AN-445 Y AN-447.....	34
4.4 Acumulación de materia seca simulada y observada del híbrido AN-445 durante el ciclo del cultivo.....	35
4.5 Acumulación de materia seca simulada y observada del híbrido AN-447 durante el ciclo del cultivo.....	36
4.6 Comparación entre valores simulados y observados de MS para los Híbridos AN-445 Y AN-447.....	37
4.7 Rendimiento de grano simulado y observado obtenidos en el híbrido AN-445.....	38
4.8 Rendimiento de grano simulado y observado obtenidos en el híbrido AN-447.....	39



## INTRODUCCIÓN

La importancia del cultivo del maíz en nuestro país como alimento básico en la dieta del pueblo, requiere de que se logre la autosuficiencia sostenida de este producto, mediante la explotación de las áreas potenciales propias de este cultivo, buscando incrementar la producción y la productividad.

Desde el punto de vista industrial, el maíz se usa como materia prima, con el que se fabrican medicamentos, miel, alcohol, aceites, grasa para zapatos, explosivos, productos para soldar, recubrimiento para madera y otros. Se conoce que el maíz participa en la elaboración de mas de 2,400 productos industriales.

En los países en vías de desarrollo, donde existe gran urgencia por aumentar la capacidad de producción del cultivo del maíz en forma sustentable, y en donde a la vez suelen haber recursos limitantes para la consecución de la investigación, existe un gran potencial para el uso beneficioso de las tecnologías de simulación agrícola. Dado que existen simuladores para este cultivo, y que la adaptación del modelo usado requiere tan solo un microcomputador y unas cuantas temporadas de crecimiento para recolectar datos y calibrarlo al ambiente correspondiente.

La mayoría de estos modelos han demostrado ser útiles describiendo adecuadamente la variable que se mide, sea ésta rendimiento, desarrollo, dispersión de una enfermedad, etc. La importancia estriba en que una vez formulado y resuelto el modelo, este puede predecir razonablemente la respuesta, llámese rendimiento, porcentaje de plantas enfermas, materia seca, residuabilidad, etc., a la variable estímulo. De esta manera, se pueden establecer mejores estrategias para lograr maximizar o minimizar la variable respuesta según se requiera.

El riego por goteo supone una mejora tecnológica importante, que contribuye por lo tanto, a una mayor productividad. Comporta un cambio profundo dentro de los

sistemas de aplicación de agua al suelo que incide también en las prácticas culturales a realizar. La aplicación de los abonos con el riego por goteo, que se conoce con el término de fertigación, no solo permite un ahorro de mano de obra, sino también de fertilizantes, ya que se pueden dosificar con gran precisión las cantidades de éstos destinadas a la planta.

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el modelo EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator) para determinar el índice de área foliar, la acumulación de materia seca y rendimiento de grano en el cultivo del maíz bajo condiciones de ferti-riego.

#### **Objetivo específico.**

Comparar la dinámica del índice de área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento de grano simulados con los observados en campo, para evaluar la capacidad de simulación del modelo.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Modelos de simulación.**

Yurén (1986), cita que la función básica del modelo es la de ayuda a comprender las teorías y las leyes, y proporcionar una interpretación de las mismas, de manera de que si el modelo ayuda a comprender es porque además de dar una explicación, nos permite predecir. Los modelos son medios para comprender lo que la teoría intenta explicar, enlazan lo abstracto con lo concreto.

Keulen (1986), cita que el modelaje de los cultivos adquirió una gran importancia a partir de que las computadoras se utilizaron en las investigaciones agrícolas, ya que se observó la posibilidad de integrar los conocimientos de los procesos fisiológicos que gobiernan el crecimiento y desarrollo de las plantas para tratar de explicar su comportamiento bajo condiciones de campo, de tal manera que han sido desarrollados diferentes tipos de modelos para cada cultivo.

La información necesaria para formar un modelo depende de la especie a considerar y tipo de modelo que se construirá. Los modelos que simulan el desarrollo de las plantas, requieren información sobre emergencia, aparición de órganos reproductores que son afectados por las variables relevantes del medio ambiente y fisiológico. Para recolectar los datos es necesario el uso de ambientes controlados donde los factores pueden variarse independientemente, ya que en campo no pueden ser separados sus efectos, (Waggoner 1984).

Whisler et al; (1986), establecen que mediante el uso de los modelos es posible predecir el comportamiento de un cultivo, es una herramienta importante en la investigación, es decir, mediante la simulación es posible conocer en forma aproximada que puede esperarse que ocurra en el sistema cuando se efectúa un cambio en alguno de sus componentes de tal manera que es factible hacer mas corto el proceso de investigación, esto lógicamente no quiere decir que los modelos de simulación sustituyan a los experimentos de campo.

De ahí que los modelos de simulación hayan sido desarrollados básicamente para cubrir tres aspectos. Primero, para ayudar a entender fenómenos de un sistema agrícola; segundo como herramienta de investigación, y tercero aquellos modelos desarrollados para monitorear el crecimiento y desarrollo de los cultivos a nivel comercial.

Generalmente los modelos se clasifican en empíricos o correlativos que describen las relaciones entre cultivo y ambiente sin referirse a un seguimiento biológico o físico que existen las variables que gobiernan el crecimiento y desarrollo del cultivo, estos reducen la posibilidad de entender dichas relaciones; y los mecanistas o exploratorios, intentan explicar en forma casual la relación entre las variables; en un modelo mecanista las funciones matemáticas representan el mecanismo hipotético que describen el comportamiento observado, por esta razón la modelación mecanista es factible convertirla en un mayor entendimiento de las causas con lo que aumentan las soluciones ( Whisler et al, 1986).

Cazanga (1991), conceptualiza que un modelo es el medio para el estudio de sistemas complejos y justifica su utilización si mejora la comprensión del comportamiento del mismo, de una manera mas efectiva, que si se observa el sistema. Es importante mencionar que un modelo comparado con el sistema que representa puede proporcionar información a un costo menor y permitir el conocimiento anticipado de las condiciones que no se observan en la vida real. Agrega que la simulación tiene las siguientes ventajas:

- Permite estudiar los efectos de determinados cambios ambientales, de información y de organización en la operación de un sistema.
- Puede orientar a los investigadores en relación a las variables que son más relevantes y a la forma como se relacionan.
- Puede servir para experimentar con nuevas situaciones acerca de las cuales hay poca información o no existe.

Toure et al; (1995), afirma que los modelos de simulación se han usado para integrar los múltiples factores que afectan la producción del cultivo y para predecir el

efecto del cambio climático. Se han usado varios modelos para examinar los posibles efectos del clima en las praderas, sin embargo, las predicciones hechas por los modelos, depende de las asunciones hechas sobre las relaciones de clima-cultivo-suelo, al momento de crear el modelo. El análisis de sensibilidad de los modelos de cultivo con series de datos climáticos comunes, puede ayudar al conocimiento del funcionamiento de los modelos bajo condiciones de cambio global, lo que a su vez permitiría seleccionar el modelo para los estudios de cambio climático.

## **2.2. EPIC**

La producción del cultivo fue simulada con EPIC para cinco predios agrícolas representativos del medio Oeste de los E. U. Bajo una variedad de escenarios climáticos simularon el impacto sobre el rendimiento, y su uso de agua en maíz, soya y trigo de invierno. La simulación se efectuó sobre un rango de temperatura, precipitación, radiación solar, humedad y concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. La resistencia estomatica y el índice de área foliar fueron afectados por cambios en CO<sub>2</sub> donde también varían algunos de la simulación, cambios en cada una de estas variables alteraron el rendimiento de los cultivos y uso de agua. Incremento en temperatura acelera el desarrollo fenológico para todos los cultivos, acortando el tiempo de madurez, bajo rendimiento y disminución en la eficiencia en el uso del agua. Cambios en precipitación y presión de vapor afectan el rendimiento del cultivo y uso del agua alterando el grado de estrés experimentado por el cultivo. Para todos los cultivos, cambios en presión de vapor y precipitación fueron relacionados positivamente con cambios en rendimiento del cultivo. Incremento en CO<sub>2</sub> y consecuentemente incremento en índice de área foliar y resistencia estomatica incremento el rendimiento del cultivo y por lo tanto el uso eficiente del agua (Brown and Rosenberg 1997).

El modelo de EPICPHASE, una versión modificada de la EPIC, fue utilizado para simular los efectos de la tensión del agua en diversas etapas del

crecimiento y para ayudar a la toma de decisión a corto plazo con la simulación del crecimiento de cosecha en tiempo real. Los datos para las cosechas del girasol y del maíz fueron utilizados para demostrar el uso del modelo en la determinación de la programación del riego (Cabelguenne et al, 1994).

Cabelguenne et al (1993). Utilizaron en Toulouse, Francia, el modelo ÉPIC para simular los efectos de la tensión de la sequía en la producción de la biomasa y del índice de cosecha del maíz. El objetivo era definir, usando como base, 1000 m<sup>3</sup> del agua/ha disponible para riego, la estrategia óptima de la irrigación, fue maximizar la producción del maíz tomando en consideración 20 años de datos climáticos, 3 suelos característicos y 6 estrategias de riego, los resultados simulados concordaron bien con los medidos durante períodos críticos en producción de grano. El autor cita que usando la capacidad de EPIC de simular la rotación en cosechas múltiples, sería posible desarrollar recomendaciones más complejas de riego, considerando no solamente la distribución temporal, sino espacial del agua de riego. Relacionado con un modelo económico, el EPIC podría ayudar a los agricultores en la toma de decisión según las nuevas políticas europeas.

Kiniry et al, (1995), realizaron una investigación cuyo objetivo fue desarrollar los parámetros para las especies económicamente importantes de grano y forraje crecidas en las regiones de las grandes planicies de E.U. y Canadá y determinar si el modelo EPIC podría utilizar estos parámetros razonablemente para simular la producción. Los parámetros para el desarrollo del área foliar, la respuesta a la temperatura, el crecimiento y partición de la biomasa, y las concentración de nutrientes fueron derivados de datos en la literatura para la canola, el trigo, la cebada, el maíz y seis cultivos forrajeros. Debido a la importancia creciente de canola en Canadá y los Estados Unidos, mucho énfasis fue puesto en derivar sus parámetros. Con estas entradas de información, el EPIC razonablemente simuló el rendimiento de los cultivos forrajeros cosechados en seis localidades y la canola rinde en cuatro localidades. El modelo debe proporcionar simulación razonable para una amplia gama de aplicaciones a través de estas regiones.

Los datos recogidos en el experimento de campo durante el período 1991 a 1995, fue comparado con los valores simulados obtenidos por el modelo ÉPIC. Las simulaciones fueron conducidas para las rotaciones de cinco años. Las producciones simuladas subestimadas de remolacha, de trigo de invierno y de cebada fueron afectadas por la tensión del agua (precipitación baja). Las discrepancias entre los datos predecidos y medidos sugieren que los valores por defecto de parámetros ÉPIC no son completamente adecuados para las condiciones bajo estudio, (Lacko et al, 1998).

Gray et al, (1997) estudiaron los costos y las ventajas de la labranza-cero (NT) comparados con la labranza convencional (CT) para el maíz irrigado (*Zea mays* L.) en los llanos altos del norte de Texas. Los resultados de investigación, de un trigo en el cuarto año de rotación de trigo-barbecho. Los rendimientos generadas por el EPIC fueron utilizadas en un modelo económico a nivel predio para analizar la economía a largo plazo (10 años) en la producción de maíz, de N y de C sobre una base entera del predio bajo varias estrategias de riego. Los resultados indicaron que el N aumentó la probabilidad de la supervivencia para la estrategia baja de riego, mientras que en la estrategia mas frecuente de los riegos aumentaba la renta agrícola neta efectiva en 8.5%.

Warner et al (1997), utilizaron el modelo EPIC para predecir la concentración de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en un suelo arcillo arenoso. En el cultivo de maíz, los niveles simulados de nitrato fueron comparados con los niveles medidos en suelo barbechado con cinco dosis de aplicación de nitrógeno (N) durante tres años. Las concentraciones de nitrato en el suelo fueron medidas en estratos de 15 cm hasta una profundidad de 60 cm. Las simulaciones iniciales mostraron que el uso de valores de parámetros medidos en el suelo produjeron resultados mejores que los recomendados en el manual.

King et al (1996), realizaron simulación a escala de campo agrícola en seis pequeñas cuencas localizadas en Riesel, Texas, mejoraron el modelo con

producción de sedimentos en el escurrimiento, transporte de nutrientes y crecimiento del cultivo. Las prácticas de manejo incluyen sistemas sin labranza y labranza convencional, valores de parámetros simulados anualmente fueron comparados con datos medidos por un periodo de cinco años. Las comparaciones anuales indican ajuste cercano entre medias y desviaciones estándar por erosión, por escurrimiento y  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Correlación significativa existe entre  $\text{NO}_3\text{-N}$  fue presentada en la mayoría de los estudios, la eficiencia en la predicción fue significativa para todos los elementos excepto para  $\text{NO}_3\text{-N}$  en dos cuencas. Los resultados de este estudio indican la habilidad para simular los procesos naturales en una arcilla expandible con varias prácticas de manejo.

Un estudio de 16 años de rendimiento en maíz en un tratamiento control con fertilizante inorgánico y un tratamiento con estiércol de puerco enriquecido con cobre con aplicaciones de 168 ton. Métricas / ha fueron simuladas con el modelo EPIC. El estudio de campo fue conducido en tres diversos suelos Guemsey limoso, Bertie arenoso y Starr-Dyke arcilloso. Los resultados indican que EPIC simula los tratamientos de estiércol y fertilizante igualmente bien. EPIC simula el rendimiento medio que no fue diferente del rendimiento medio observado para todos los tratamientos (Probabilidad  $> \text{ó} = \text{a } 0.5$ ). Excelente ajuste indica que rendimiento simulado no difiere del medido para todas las simulaciones, excepto para el tratamiento del estiércol en el suelo clase bertie. Tratamiento control y estiércol, rendimiento simulado presenta 78% y 80% de variación con rendimiento medido, (Parsons et al, 1995).

Geleta et al, (1994), evaluaron rendimiento del cultivo y movimiento de  $\text{NO}_3\text{-N}$  en la superficie y el subsuelo en cuatro suelos y nueve sistemas principales de cultivo en la región de las altas planicies de Oklahoma. El sistema de cultivo implicó trigo, sorgo de grano y maíz, y son parte de una base regional de datos que también contienen información sobre manejo de suelos y químicos. Para cada combinación de cultivo, suelo, sistema de cultivo y alternativa química fue hecha una simulación durante 20 años. La simulación basada en un sistema de modelización que incluyó EPIC-PST



(modelo de cultivo-modelo de movimiento de químicos) interconectado con un sistema de información geográfica, Earthone. Los resultados de cada simulación incluyen rendimiento de cultivo y movimiento de  $\text{NO}_3\text{-N}$  para diferentes suelos, sistemas de riego y sistemas de cultivo. Cuando se comparan con sistemas de cultivo con riego continuo en trigo y grano de sorgo, el doble cultivo trigo-grano de sorgo resulta en una mayor pérdida de  $\text{NO}_3\text{-N}$ . El sistema de riego por surcos tiene una mayor pérdida de  $\text{NO}_3\text{-N}$  en suelos de textura fina y gruesa que en riego por aspersión y el sistema de aplicación de baja energía.

EPIC-WT es un versión modificada del calculador del impacto de la erosión-productividad (ÉPIC). Es capaz de determinar el lazo entre la erosión del suelo y la productividad del suelo, de simular las fluctuaciones diarias del nivel freático, y de predecir el efecto de los alcantarillados subsuperficiales en los componentes del balance del agua para los suelos con nivel freático bajos, (Sabbagh et al, 1991).

### **2.3. Descripción del modelo EPIC.**

El modelo EPIC (Erosión-Productivity Impact Calculator), fue desarrollado por un grupo de investigadores de USDA\_ARS (Williams et al, 1984) con el propósito de simular la erosión causada por ciertas prácticas de manejo del suelo, y las consecuencias económicas y técnicas de las erosiones.

EPIC se compone físicamente de submodelos para realizar la simulación de la erosión, crecimiento de las plantas y otros procesos relativos. El modelo EPIC esta formado de diez submodelos:

- Clima. Si requiere simular el clima, el submodelo es capaz de calcular las condiciones climáticas diarias utilizando un modelo macroviano.
- Hidrología. Simulan los aspectos hidrológicos del suelo, es decir los movimientos del agua ligados a las condiciones de suelo y clima y al

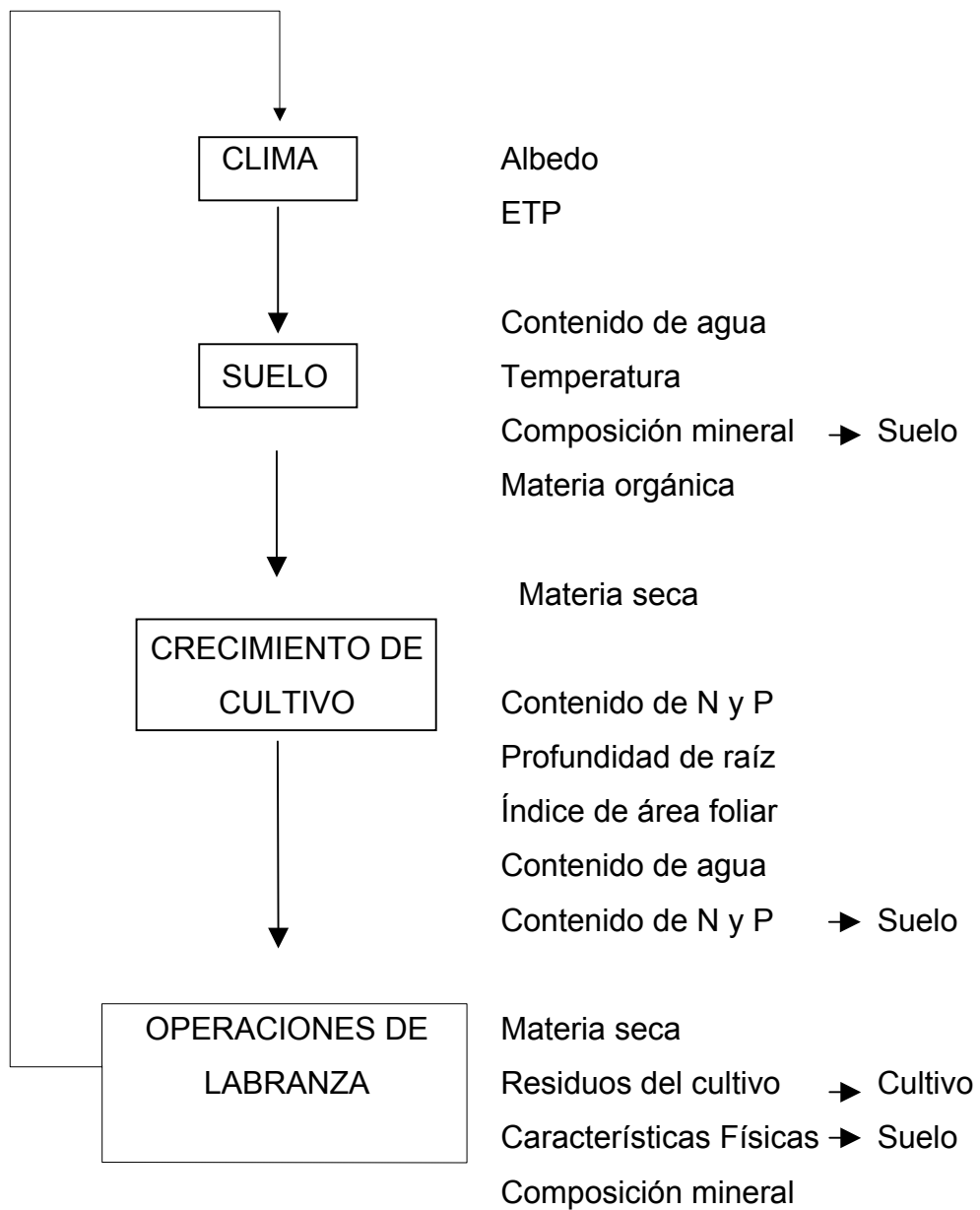
proceso de evapotranspiración del cultivo, cálculo de escurrimiento de drenaje, de circulación subterránea y lateral.

- Erosión. Simula la erosión del suelo causada por el viento, la lluvia, los riegos, el escurrimiento y el drenaje.
- El ciclo de los nutrimentos. El modelo simula la dinámica del nitrógeno y fósforo en el suelo considerando la influencia del clima, suelo, cultivo y operaciones de manejo.
- Destino de pesticidas. Simula el movimiento de pesticidas con el agua y el sedimento, así como la degradación en follaje y en suelo. Temperatura del suelo: La temperatura del suelo depende del clima, del contenido de agua en el suelo, y de la densidad aparente. Se computan diariamente en cada capa del suelo.
- Labranza. El equipo de labranza afecta las propiedades del suelo y el ciclo de los nutrientes. El modelo simula las variaciones en las propiedades físicas del suelo.
- Desarrollo del cultivo. EPIC es capaz de simular el desarrollo de cultivos, pastos y árboles agronómicos importantes. Los parámetros cultivo – específicos están disponibles para la mayoría de los cultivos-El usuario puede ajustar o crear nuevos conjuntos de parámetros según sea necesario. También puede simular los cultivos en desarrollo, en rotaciones complejas y en ciertos casos.
- Manejo de cultivo y el suelo. Simula una gran cantidad de variables de cultivo, de prácticas de manejo y de procesos que ocurren naturalmente. Estos incluyen diversas características del cultivo, población de plantas, fechas de siembra y cosecha, fertilización, irrigación, sistema de drenaje artificial y control de parásitos. El modelo puede también calibrar los efectos de tales prácticas de manejo variadas, como si el cultivo está cosechado para grano o el follaje o se pasta o se quema.
- Crecimiento vegetal. Simula el crecimiento del cultivo, materia seca total, índice de área foliar, rendimiento.

- Economía. Un conjunto de estadísticas simples se incluye para calcular los costos de entradas de información.

SUB-PROGRAMA  
ESTABLECIDO  
ACERCA DE

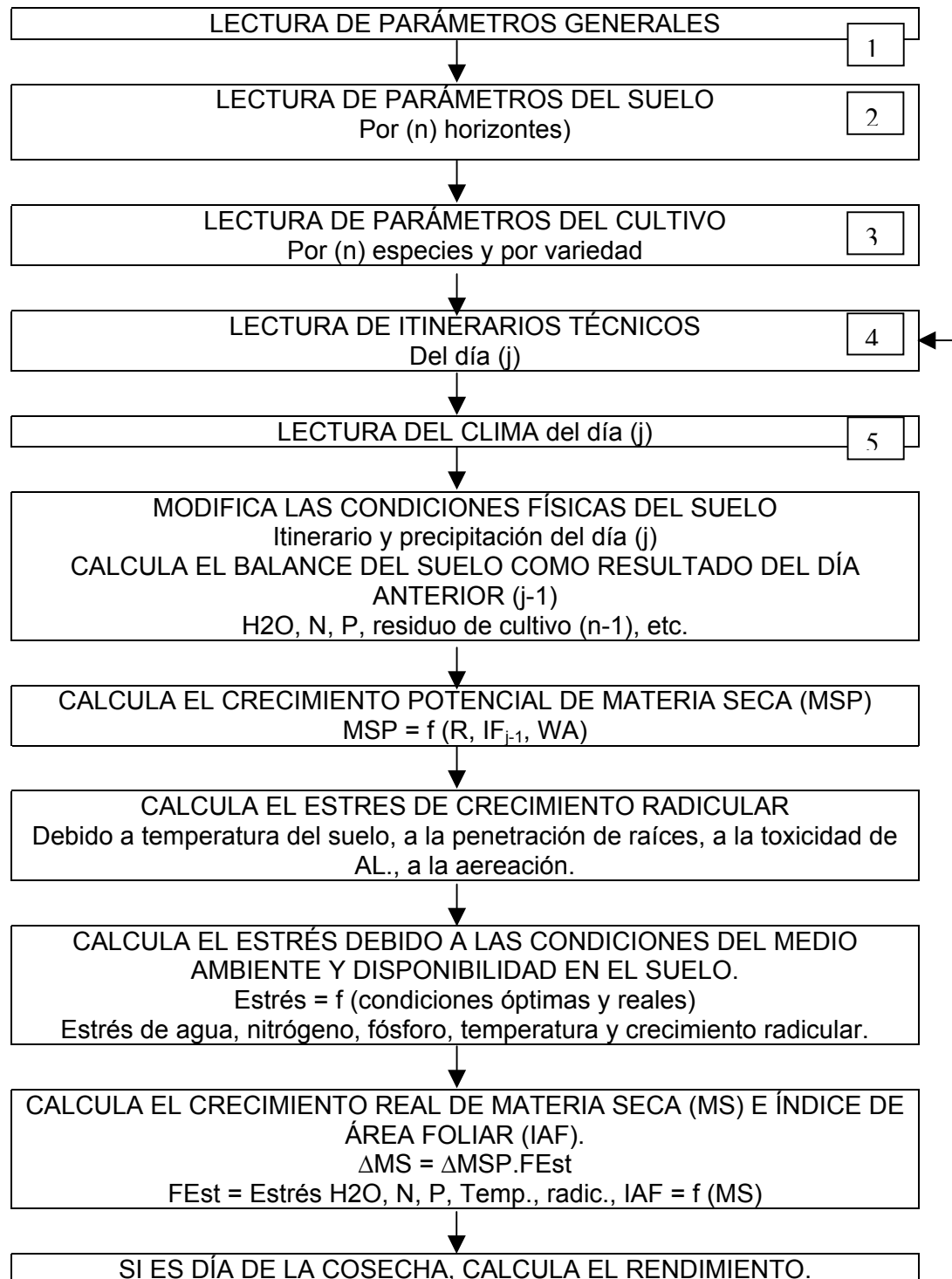
VARIABLES  
PRINCIPALES  
CAPTURADAS



Secuencia diaria del modelo EPIC.

Cuadro 2.1 Secuencia diaria del modelo EPIC.

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SUBMODELO  
(CRECIMIENTO VEGETAL)



$RT = MS.(IC)$ $IC = \text{ÍNDICE DE COSECHA}$
--

Cuadro 2.2. Esquema de funcionamiento del submodelo crecimiento vegetal.

#### 2.4. Materia seca.

Tanaka y Yamaguchi (1984), citan que la materia seca es la resultante final del proceso fotosintético y la respiración, en la cual, parte de los carbohidratos generados en este proceso son utilizados como material de construcción para la estructura de la planta.

Reed et al; (1988) estudiaron en el cultivo del maíz el efecto del sombreado sobre la partición de materia seca, contenido de nitrógeno, y el número y rendimiento de grano. Las plantas de maíz que crecían en el campo fueron sombreadas durante la etapa vegetativa. Las plantas control no fueron sombreadas. Cuando las plantas fueron sombreadas durante la floración, disminuyó la fotosíntesis y se incremento el aborto de flores en relación al tratamiento control, sin embargo la concentración de nitrógeno fue mas alta en los granos restantes. Durante la reducción en el abastecimiento del nitrógeno hacia el jilote, debido al sombreado no fue un factor limitante para determinar el número de granos. Durante el llenado de grano, la removilización de nitrógeno y de materia seca desde las fuentes, corresponde a un 46.5 y 4.7 % del que se encuentran en el grano a la madurez respectivamente.

La tasa de acumulación de materia seca en algunas especies, es limitada por la disponibilidad de carbono, agua, nitrógeno, etc.; pero en otras especies la tasa esta influenciada muy poco por estos factores, a no ser que estén suministrados en menor cantidad o por debajo de los valores normales. Para las especies superiores, si algún factor es limitante, la expansión foliar de peciolos y tallo internodal son inhibidos, pero las hojas nuevas continúan apareciendo a una tasa exclusivamente en función de la temperatura, (Mayaki et al; 1976).

Frey (1982), menciona que el rendimiento del grano en maíz, es la integración de la materia seca en el suelo. La tasa y duración del llenado del

grano, ha sido sugerido por Frey como el factor el cual debe ser mejorado a través de la selección y resulta en el mejoramiento del rendimiento. Este autor investigo el desarrollo del grano del maíz sobre la mazorca cuando fueron impuestos tratamientos que alteraron el abastecimiento de asimilatos a la mazorca. La perturbación del abastecimiento de asimilatos fue conseguida disminuyendo en un 50% del área foliar y removiendo en la misma proporción el área de las hojas cuando el 50% del cultivo se encontraba en la etapa de jiloteo. Los tratamientos los cuales afectaron el abastecimiento de asimilatos influyen en el número de granos y tamaño en la sección de desarrollo extremo de la mazorca. Las tasas de acumulación de materia seca en el grano son similares en la región basal y media de las mazorcas a pesar del abastecimiento de los asimilatos. Los granos de la extremidad pueden haberse llenado a tasas mas bajas que de las otras dos regiones. La alteración de la fase lineal de la acumulación de materia seca debido a los tratamientos que afectan el abastecimiento de asimilatos, fue sugerido como causa de variación en el peso del grano sobre una mazorca y entre las otras de un mismo híbrido. Este autor incluye que la etapa crítica del maíz que es altamente dependiente del abastecimiento de asimilatos es el periodo de dos a tres semanas después del 50% del jiloteo, que es cuando el número de grano final es determinado.

Eck (1986), realizó un experimento en maíz para evaluar la influencia sobre el rendimiento del grano y sus componentes del déficit hídrico en dos etapas fenológicas, sus componentes y la influencia en el uso del agua. En unos tratamientos el déficit fue impuesto de dos a cuatro semanas en la etapa vegetativa y otros en la etapa de llenado de grano. El déficit de agua impuestos durante 41 días después de siembra, redujo el rendimiento de materia seca de la hoja, tallo y mazorca. El déficit de agua durante el crecimiento vegetativo redujo el número de granos pero tuvo un pequeño efecto sobre su peso. El déficit durante el llenado del grano no afecta el rendimiento de materia seca en la hoja y tallo, pero sí en las mazorcas. El número de granos fue afectado por el déficit hídrico en el llenado del grano, a menos que el déficit haya sido impuesto

en periodos tempranos, de este modo las disminuciones en el rendimiento del grano son proporcionales en las reducciones del peso del grano. Eck concluye que no obstante que algunas veces la eficiencia en el uso del agua aumentó ligeramente cuando las plantas fueron sujetas al déficit hídrico, los resultados de esta investigación indican que el riego limitado en el maíz es factible en el sureste de las altas planicies de USA.

## **2.5. Índice de área foliar.**

Crofts et al; (1971), conciben que el índice de área foliar como una medida de frondosidad de la planta mediante la cual se puede conocer la proporción de superficie foliar expuesta a la luz, en el cual podrá ocurrir la fotosíntesis.

Gerakis y Papacosta (1979), al trabajar con maíz y analizar los parámetros de crecimiento en función de la densidad de población, observaron que por unidad de área el peso seco y el índice de área foliar se incrementan a medida que aumenta la densidad y bajo estas condiciones se obtuvo la máxima tasa de crecimiento del cultivo.

Tanaka y Yamaguchi (1981), en su trabajo de producción de materia seca y componentes de rendimiento en maíz, encontraron que elevados valores de índice de área foliar generalmente ocasionan disminución en el número de granos por unidad de área foliar, teniendo como consecuencia reducción en el rendimiento.

Fisher et al.; (1981) indican que la resistencia a la sequía de algunos híbridos de maíz estuvo relacionada con la menor acumulación de área foliar y un intervalo mas corto entre la síntesis media y aparición promedio de los estigmas.

El área foliar es uno de los parámetros mas importantes en la elevación del crecimiento de las plantas, de ahí que la determinación adecuada del mismo sea fundamental para la correcta interpretación de los procesos de desarrollo de un cultivo.

## **2.6. Riego por goteo.**

El creciente interés por la aplicación del riego por goteo no se debe simplemente al problema económico de agua que conlleva la práctica, sino también a la necesidad de reducir al máximo posible los costos operacionales y de equipos, y de obtener mayor cantidad de productos y de mejorar su calidad. Las plantas usan la cantidad necesaria para su crecimiento y desarrollo evitando los periodos críticos en que las carencias de este recurso originan abortos y caída de flores y frutos, además de otros problemas biológicos. Las producciones logradas superan provisionalmente el 30% de lo obtenido con los métodos convencionales, (Rodríguez, 1982).

Valenzuela (1975), indicó que el riego por goteo se puede usar (con muy pocas excepciones como arroz y tabaco) en casi todos los cultivos. Aunque considerando el aspecto económico, actualmente esta restringido a cultivos anuales como: trigo, cebada, linaza, sorgo y cártamo, ya que todavía no se conoce una forma económica de su aplicación. También señaló como ventaja sobresaliente, el enorme incremento tanto en calidad como en cantidad de las cosechas, haciendo que los productos tengan mucho mas valor económico.

En los sistemas de riego localizado, el agua se conduce por tuberías, a presión mayor que la atmosférica. El agua se suministra al suelo mediante emisores que la dispersan, humedeciendo la zona de las raíces. Estos emisores permiten aplicar la cantidad de agua requerida por el cultivo en intervalos



tiempo cortos. En general, los sistemas de riego presurizados permiten la mecanización y automatización de las operaciones agrícolas como la aplicación de fertilizantes. (IMTA, 1997).

Hiller y Howel (1972), citados por García y Briones (1986), indicaron que en un sistema de riego por goteo, el agua puede ser suministrada al cultivo, en base a una baja tensión y una alta frecuencia, con lo que se crea un medio ambiente óptimo de humedad en el suelo, la eficiencia en el uso del agua podría ser aumentada en un 50 % ó más usando un riego por goteo en lugar de un riego por superficie.

Los sistemas que trabajan bajo el riego localizado, en principio son el goteo (puntual y cinta de riego) y la microaspersión, este tipo de sistemas son diferente a los demás métodos, principalmente por el volumen de exploración de las raíces en el suelo. Además de la posibilidad de mantener un óptimo control de la humedad del bulbo húmedo donde se concentran las raíces y por la posibilidad de aplicar los nutrientes requeridos por los cultivos en cantidad, época y balance con absoluta libertad, de acuerdo a estas características la técnica del fertirriego alcanza su mayor eficiencia y justificación. Cuando se aplica el agua por este método, es más fácil obtener una mejor uniformidad de distribución, ya que las diferencias de laminas aplicadas se realizan a nivel de secciones de riego mediante reguladores de presión, sin embargo, la lamina aplicada esta en función del tiempo de riego, si este tiempo es bien diseñado permite la correcta distribución del agua y alcanzándose una alta uniformidad de distribución, (Rojas P. L., 2000).

### **III. MATERIALES Y METODOS**

Para realizar la simulación se utilizó la información (metodología y resultados) presentados en la tesis: Respuesta de dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a la ferti-irrigación. Realizada en 1999.

### **3.1. Localización del Sitio Experimental**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, Coahuila y cuyas coordenadas geográficas son 25° 21'20" de Latitud Norte y 101° 01'30" de Longitud Oeste y a una altitud media sobre el nivel del mar de 1743 m. En el área conocida como Jardín hidráulico.

### **3.2. Clima**

De acuerdo al sistema de Koepen modificado por Torres, R.E. (1983), el clima de la región comprendida para Buenavista, Saltillo, Coah., es representado por Bso K(x') (e); donde los términos significan:

Bso.- Es el más seco de los BS, con un coeficiente de P/T (22.9).

K.- Templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18°, la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente de 18° C.

x'.- Régimen de lluvia intermedia entre verano e invierno.

La precipitación media anual es de 345 milímetros.

### **3.3. Tipo de suelo y propiedades físico - químicas**

El suelo tiene una textura migajón - arenoso en los estratos superiores y en los inferiores tiende a arcilloso, este suelo ha sido formado principalmente de material de arrastre. En los estratos superiores tiene alto contenido de materia orgánica y es muy rico en los macronutrientes potasio y fósforo y medianamente en nitrógeno. El pH indica que es ligeramente ácido y la conductividad eléctrica que es libre de problemas de sales. El cuadro 3.1 presenta los resultados de los análisis del suelo del sitio de experimentación.

Cuadro 3.1. Valores de parámetros físico-químicos del suelo donde se estableció el experimento en el ciclo Verano-otoño de 1999

Características	Estratos del perfil en cm					
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-140
<b>PH</b>	6.44	6.49	6.40	6.21	6.24	6.19
<b>C.E. ds/m</b>	1.20	0.809	0.604	0.951	0.828	0.580
<b>Materia Orgánica</b>	4.15	5.20	1.44	1.81	1.06	0.91
<b>Nitrógeno Total %</b>	0.201	0.209	0.175	0.153	0.126	0.093
<b>Fósforo Kg/Ha</b>	112.5	79	100	60	75.5	38.25
<b>Potasio Kg/Ha</b>	900	900	400	225	630	225
<b>Carbonatos T.</b>	68.13	65.68	68.13	59.31	61.76	59.8
<b>Arcilla %</b>	28.0	26.4	34.4	38.4	40.4	40.4
<b>Limo %</b>	15.6	16.0	16.0	20.0	18.0	14.0
<b>Arena %</b>	56.4	57.6	49.6	41.6	41.6	45.6
<b>CC % peso</b>	30.7	31.7	30.4	23.9	20.3	21.3 - 24.3
<b>PMP% peso</b>	16.16	16.68	16	12.58	10.68	11.21 - 12.78
<b>Da gr/ cc</b>	1.1	1.09	1.1	1.2	1.24	1.24
<b>Textura</b>	Migajón arcillo – arenoso.			Migajón arcillosos	Arcilla	Arcillo arenoso

**Nota:** el PMP se obtuvo dividiendo el valor de la CC entre 1.9

### 3.4. Establecimiento del experimento

El día 15 de mayo de 1999, se barbechó el suelo y el día 1 de junio se rastreó. Posteriormente se construyeron las camas con un ancho de 1.50 metros cada unidad experimental contó de 8 camas de 10 metros de largo (12 x 10 m).

Se instaló el sistema que constó de una línea distribuidora de tubería de polietileno de ¾ “ de diámetro, en la cual se insertaron los conectores de cintilla; Se colocó una cinta por cama (marca T-Tape). Los días 7 y 8 de junio se realizó el riego de pre-siembra.

Cuadro 3.2. Especificaciones del fabricante para la cintilla T-Tape TS (1992).

Modelo.	CU	Presión de entrada (Bares).				
		0.40**	0.55**	0.70**	0.85**	1.05**
T-Tape TS 30 CM 340 LPH en 100 m de largo.	90 %	148*	150*	152*	153*	155*
	85 %	187*	190*	192*	194*	196*

\*\* Presión en bares.

CU Coeficiente de uniformidad en %

\* Longitudes de acuerdo al CU.

Las longitudes de línea por 100 metros con 0 % de pendiente.

### 3.5. Siembra

La siembra se realizó los días 10 y 11 de junio de 1999 en el ciclo verano-otoño, en forma manual con una separación entre surcos de 70 cm y entre plantas de 10 cm aproximadamente obteniendo una densidad de población de 100,000 plantas por hectáreas.

Se sembraron dos híbridos, la emergencia ocurrió los días 17 y 18 de junio, iniciándose el desarrollo del cultivo.

### 3.6. Materiales genéticos

Los materiales utilizados en el presente trabajo de estudio fueron proporcionados por el Instituto Mexicano de Maíz “DR MARIO CASTRO E. GIL” de la UAAAN.

Siendo los híbridos AN 447 y AN 445 cuyas características agronómicas principales se presentan a continuación:

#### Híbrido AN 447

Tipo de grano: blanco, semidentado

Forma de mazorca: cilíndrica

Tamaño de mazorca: grande

Altura promedio: 2.8 m (2.5 a 3.10 m)

Altura de mazorca: 1.3 m (1.2 a 1.5 m)

Ciclo de cultivo: intermedio

Floración: 75 a 80 días

Días a cosecha: 140–150 (grano) días después de la siembra

Tipo de hoja: semierecta

Color de hoja: verde claro

Acame: tolerante y resistente

Cobertura de mazorca: buena

Resistencia a enfermedades: tolerante

Comportamiento en tipos de suelo: arenoso (bueno), limoso (muy bueno), arcilloso (bueno)

### **Híbrido AN 445**

Tipo de grano: blanco

Forma de mazorca: cilíndrica

Tamaño de mazorca: grande

Altura promedio: 2.7 m (2.4 a 3 m)

Altura de mazorca: 1 m (.8 a 1.3 m)

Ciclo de cultivo: intermedio

Floración: 75 a 80 días

Días a cosecha: 140–150 (grano) y 110 a 120 días después de siembra

Tipo de hoja: semierecta

Color de hoja: verde oscuro

Acame: tolerante y resistente

Cobertura de mazorca: buena

Resistencia a enfermedades: tolerante

Comportamiento en tipos de suelo: arenoso (bueno), limoso (muy bueno), arcilloso (bueno)

### **3.7. Distribución de los tratamientos**

El estudio consistió en dos híbridos de maíz, regados bajo el mismo criterio de aplicación de agua, con las mismas condiciones de humedad y aplicación de fertilizante para determinar el rendimiento en grano y de materia seca y contenido de nitrógeno.

Los dos tratamientos se establecieron en el mismo sitio de experimentación, cada unidad experimental fue de 16 surcos de 10 metros de largo y que corresponden a 120 m<sup>2</sup> de unidad experimental y cuya parcela útil fue de 37.8 metros cuadrados.

### **3.8. Labores culturales**

Se efectuó primero el control de los pájaros después de la siembra, posteriormente los días 27 y 28 de junio se realizó el aclareo de plantas, para obtener una densidad de población de 100,000 plantas por hectárea.

Durante el desarrollo del cultivo se llevó a cabo dos veces el control de malas hierbas con azadón, al mismo tiempo se hizo el aporque del cultivo a fin de evitar el acame de éste.

Para el control del gusano cogollero se aplicó malathión 50% con las dosis recomendadas, haciendo las aplicaciones los días 12,19,26,28 de junio de 1999 y el 14 de agosto del mismo año.

### **3.9. Medición y control de riegos**

#### **3.9.1. Tensiómetros**

Para el control de riego se instalaron tensiómetros a 30 y 90 cm de profundidad, cada instrumento se colocó entre la cintilla de riego y la hilera de

maíz en las camas centrales de cada parcela, el riego se efectuaba cuando la tensión en el medidor instalado a 30 cm marcaba un valor de 60 centibares, que corresponde a un abatimiento del 20 % de la humedad disponible. La lectura de los tensiómetros se efectuó diariamente.

### 3.9.2. Dispensor de neutrones

En el centro de cada unidad experimental se instaló un tubo de aluminio para acceso del dispensor de neutrones y poder medir el contenido de humedad en el suelo.

Las mediciones con el dispensor de neutrones se efectuaron semanalmente, para obtener el contenido de humedad se utilizó la siguiente ecuación de calibración.

$$\% \text{ Volumen real} = 0.935 + (37.16 * RC)$$

Donde:

% Volumen real es contenido de humedad en el suelo en porciento.

RC es la relación de conteo (conteo medio / conteo estándar).

### 3.9.3. lámina de riego

Para determinar la lámina de riego se utilizo la ecuación que nos permite calcular la lamina de riego en cm para determinar el consumo total de agua.

$$Lr = \frac{(HS_{cc} - HS_x)(Pr)}{100}$$

Donde:

Lr es la lámina de riego en cm

HS<sub>cc</sub> es el contenido de humedad porciento volumen a capacidad de campo (27.5 a un metro de profundidad)

HS<sub>x</sub> es el contenido de humedad porciento volumen al momento de riego

Pr profundidad del estrato en cm

Cuadro 3.3 Número y fechas de riegos, cantidades aportados en cm y en m<sup>3</sup>/ha en el híbrido AN-445.

<b>Numero de riegos</b>	<b>Días después de la siembra</b>	<b>Lamina en cm</b>	<b>Volumen por hectárea en m<sup>3</sup></b>
<b>Primero</b>	21	1.1	88.44
<b>Segundo</b>	45	4.85	389.94
<b>Tercero</b>	58	6.664	535.7856
<b>Cuarto</b>	64	4.416	355.0464
<b>Quinto</b>	71	7.728	621.3312
<b>Sexto</b>	99	9.37	753.3448
<b>Séptimo</b>	113	13.6	1093.44

La lámina total regada es de 47.728 más la lámina precipitada durante el ciclo que fue de 250 mm respectivamente, el volumen total aplicada del tratamiento dos fue de 3837.3312 m<sup>3</sup>/Ha

Cuadro 3.4 Número y fechas de riegos, cantidades aportadas en cm y m<sup>3</sup>/Ha en el híbrido AN-447.

<b>Numero de riegos</b>	<b>Días después de la siembra</b>	<b>Lamina en cm</b>	<b>Volumen por hectárea en m<sup>3</sup></b>
<b>Primero</b>	21	1.1	88.44
<b>Segundo</b>	45	4.85	389.94
<b>Tercero</b>	55	7.14	574.056
<b>Cuarto</b>	62	7.565	608.226
<b>Quinto</b>	69	7.0	562.8
<b>Sexto</b>	78	4.6	369.84
<b>Séptimo</b>	99	9.37	753.348
<b>Octavo</b>	120	20.0	1608.0

La lámina total aplicada fue de 65 cm, en cada riego se consideró para el volumen de agua aplicado un ancho de efectivo de cama de 1.2 m, el volumen total aplicado considerado el ancho efectivo fue de 4954.65 m<sup>3</sup>/Ha

### 3.10. Fertilización



La fertilización se llevó a cabo al tiempo de aplicar el riego, los requerimientos nutricionales por día fueron determinados de acuerdo a la información proporcionada por Karlen *et al.* (1987), la cual se presenta cuadro A8 del apéndice.

Cuadro 3.5 Consumo acumulado durante el ciclo para la densidad de población de 100,000 plantas por hectárea (Karlen *et al.* 1987) .

Fecha	Días después de la siembra	Gramos acumulado por 100,000 plantas por hectárea		
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio
11/06/99	1	276	36.8	368
25/06/99	15	4140	552	5520
10/07/99	30	10598.4	1324.8	15180
Continuación de tabla				
25/07/99	45	29145.6	3256.8	46092
09/08/99	60	68043.2	8510	118496
24/08/99	75	116232.8	15575.6	197432
08/09/99	90	161772.8	22751.6	360912
23/09/99	105	207312.8	29927.6	324392
08/10/99	120	252852.8	37103.6	387872

Los fertilizantes utilizados fueron:

Sulfato de amonio 20.5 – 0.0 – 0.0 (NH<sub>3</sub>)

Ácido fosfórico al 85 % (HPO<sub>4</sub>)

Nitrato de potasio 12 – 2 – 44 (K<sup>+</sup>)

### 3.10.1. Aplicación de los fertilizantes

La aplicación de se realizó tomando en cuenta la acumulación de N, P, K del cuadro 3.3 obtenido, primeramente se aplicó el ácido fosfórico al 85 %, posteriormente homogeneizado el Sulfato de amonio 20.5 – 0.0 – 0.0 y Nitrato de potasio 12 – 2 – 44 previamente solubilizado antes de aplicarlo a la línea de conducción en un tanque fertilizador.

### 3.11 Parámetros evaluados

Cada 15 días se tomó una muestra de seis plantas para efectuar la evaluación de los tratamientos.

### 3.11.1. Índice de área foliar

Para determinar el área se tomaron las seis plantas por tratamiento después de la medición de la altura de la planta, según la etapa del cultivo. Se llevaron al laboratorio y se midió el largo y ancho de las hojas de cada planta, la suma del área de todas las hojas se multiplicó por 0.75 para obtener el área por planta.

El índice de área foliar (IAF), se divide el área foliar por planta entre la superficie que esta ocupa en la superficie del terreno. Es un parámetro para mostrar la productividad del ecosistema natural, para expresar su comportamiento por unidad de área del terreno.

Una vez conocida el área foliar por planta se determina el área ocupada por planta en  $m^2$ , que fue de  $0.1 m^2$  dada la ecuación siguiente se determina:

$$IAF = \frac{\text{Área foliar de la planta.}}{\text{Área del suelo que ocupa la planta.}}$$

Donde:

AIF es el índice de área foliar

### 3.11.2. Materia seca

Para determinar este parámetro se tomaron las seis plantas que se les determinó el IAF, cada planta se trozó en pedazos y se introdujo en bolsa de papal la muestras se sometieron al proceso de secado en la estufa Mapsa (modelo HDT- 18) a una temperatura de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas o más dependiendo de la humedad de la muestra. Posteriormente se peso cada

muestra y se saco un promedio en peso seco por planta o contenido de materia seca.

### 3.11.3. Rendimiento

La cosecha se efectuó el día 26 de noviembre de 1999, en cada uno de los tratamientos se cosecharon los 9 surcos centrales, cada uno represento una repetición de 4.2 m<sup>2</sup> de superficie cosechada (6.0 \* 0.7 m). la superficie total cosechada por parcela fue de 37.8 m<sup>2</sup>.

En cada repetición se pesó separadamente los tallo y hojas de la mazorca, posteriormente se tomó una muestra de tallo y hojas de dos plantas por repetición para determinar el contenido de humedad y corregir el peso para toda la repetición. En el caso de rendimiento de grano se tomaron 6 mazorcas para efectuar la corrección de peso por contenido de agua.

El rendimiento económico es ajustado a un 15 % de humedad que es la humedad comercial que se requiere (Martínez, 1994) siguiendo la siguiente ecuación:

$$Ra = \left[ \frac{(Rr \text{ en Ton/ha})(100 - \% H)}{100 - \% He} \right]$$

Donde:

Rr es el rendimiento por repetición en Ton/ha

%H es la humedad de campo de acuerdo al tratamiento y sus repeticiones de campo

%He es la humedad estándar o comercial

### 3.12. Condiciones climáticas

Esta información fue proporcionada por la estación de servicio meteorológico nacional ubicado en la UAAAN., en el verano-otoño de 1999 que se presenta en el cuadro 3.6

Cuadro 3.6 Precipitaciones y temperaturas máximas y mínimas.

<b>Mes</b>	<b>Temperatura °c</b>		<b>Precipitación (mm)</b>	
	<b>Máxima</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Total</b>
<b>Junio</b>	34.0	10.8	19.8	106.8
<b>Julio</b>	30.5	12.5	21.8	89.4
<b>Agosto</b>	31.8	10.0	17.2	36.4
<b>Septiembre</b>	31.0	7.60	5.0	13.3
<b>Octubre</b>	29.8	1.60	3.0	4.3
<b>Noviembre</b>	25.7	0.00	0.0	0.0

Durante el ciclo de cultivo la lámina total precipitada fue de 2.502 cm.

### **3.13. Simulación.**

Para la realización de la simulación del índice de área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento de grano en el maíz, se utilizó el modelo EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator), desarrollado por un grupo de investigadores de USDA-ARS (Williams, et al., 1984), con el propósito de simular la erosión causada por ciertas prácticas de manejo del suelo, y la consecuencias económicas y técnicas de la erosión.

El modelo requiere un gran número de entrada de datos para caracterizar el suelo y los cultivos, los cuales hacen posible llevar a cabo la simulación. En los cuadros A6 y A7 del apéndice, se presentan los parámetros de cultivo antes y después de la simulación.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Índice de área foliar.

En la figura 4.1 se presentan los valores observados y simulados del índice de área foliar; se observa que en ambos datos hasta el día 33 después de siembra, el comportamiento es similar, posteriormente en los observados se presenta un crecimiento lento hasta los 80 días después de siembra comparado con los resultados obtenidos de la simulación, encontrándose con una diferencia de 3.0785 % de índice de área foliar; finalmente del día 80 después de siembra en adelante se presenta un comportamiento uniforme hasta el día 119 después de siembra, a partir de esta fecha el índice de área foliar simulado y observado comienzan a declinar. Datos en apéndice.

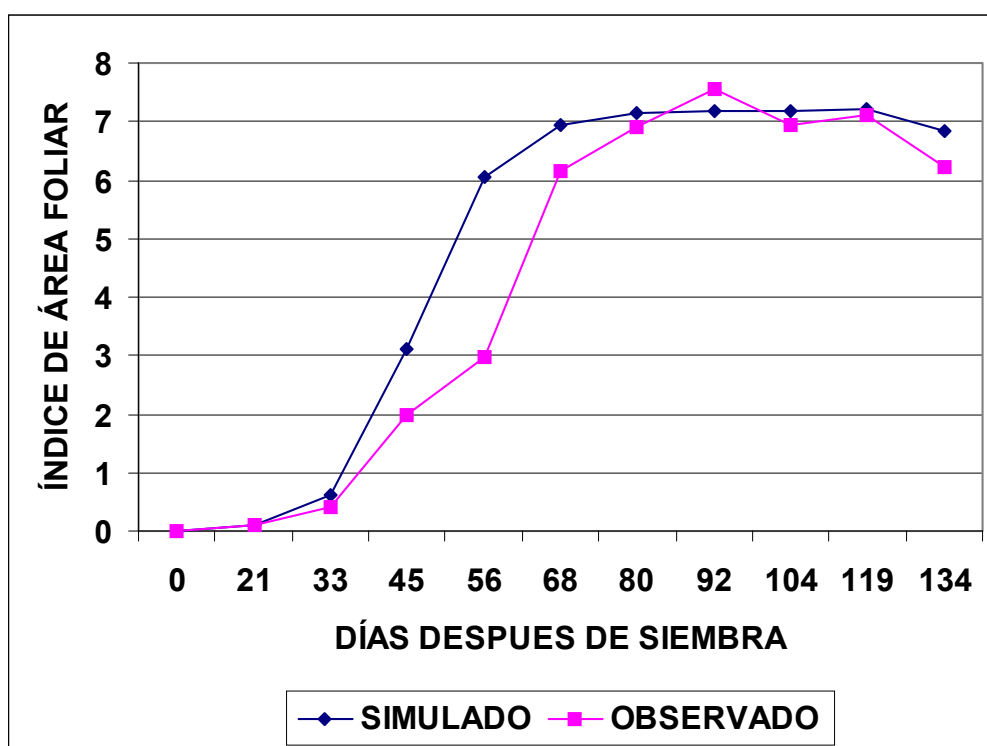


Figura 4.1 Índice de área foliar simulado y observado del híbrido AN-445 durante el desarrollo del cultivo.

La figura 4.2 muestra los datos simulados con aquellos observados en campo del índice de área foliar; en esta se observa una concordancia hasta los 33 días después de siembra, en el periodo que comprende de los 33 a los 80 días después de siembra existe una diferencia de 1.98 % como consecuencia del crecimiento lento del cultivo en la etapa de desarrollo, posteriormente de los 80 a los 119 días después de siembra (estado lechoso-masoso), las curvas se asemejan y comienzan a declinar a partir del día 119 después de siembra debido a que comienza la etapa de madurez fisiológica del cultivo.

El valor máximo de índice de área foliar que se obtuvo en los datos simulados fue de 7.4937, mientras que en el índice de área foliar observado fue de 7.3837. Cuadro de datos A2 del apéndice.

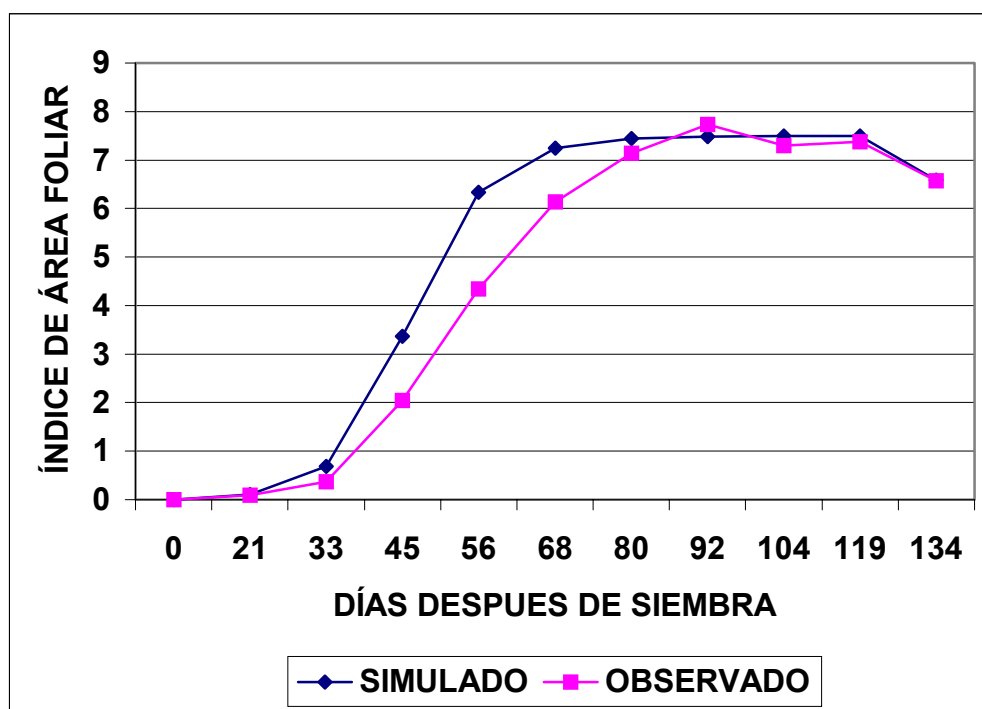


Figura 4.2. Índice de área foliar simulado y observado del híbrido AN-447 durante el desarrollo del cultivo.

En la figura 4.3. se grafican los puntos simulados con los observados en campo del híbrido AN-445 y AN.447, en esta figura se marcó un rango de desviación considerado como un límite confiable de simulación que es de  $\pm 15$  por ciento en experimentación agrícola.

Se observa que la mayor parte de los puntos graficados se encuentran dentro del rango permitido, a excepción de los que se obtuvieron en la etapa de desarrollo del cultivo, debido a que el crecimiento de la planta fue lento.

El híbrido AN-447 es el que mejor tiene un ajuste en el índice de área, se observa que la mayor parte de los puntos graficados se encuentran dentro del rango permitido, comparado con el híbrido AN-445 se obtuvieron desviaciones en menor proporción.

Es importante señalar que basado en los datos de índice de área foliar obtenidos en el campo, se cambió el parámetro de cultivo denominado punto de inicio de desarrollo del índice de área foliar (DLAI). En el manual del modelo recomienda un valor de 15.01, el cual representa que cuando se alcanza un 15 % del desarrollo del cultivo, ha crecido el 1 % del índice de área foliar total. Este parámetro se cambió por un valor de 22.05 de acuerdo a los resultados observados.

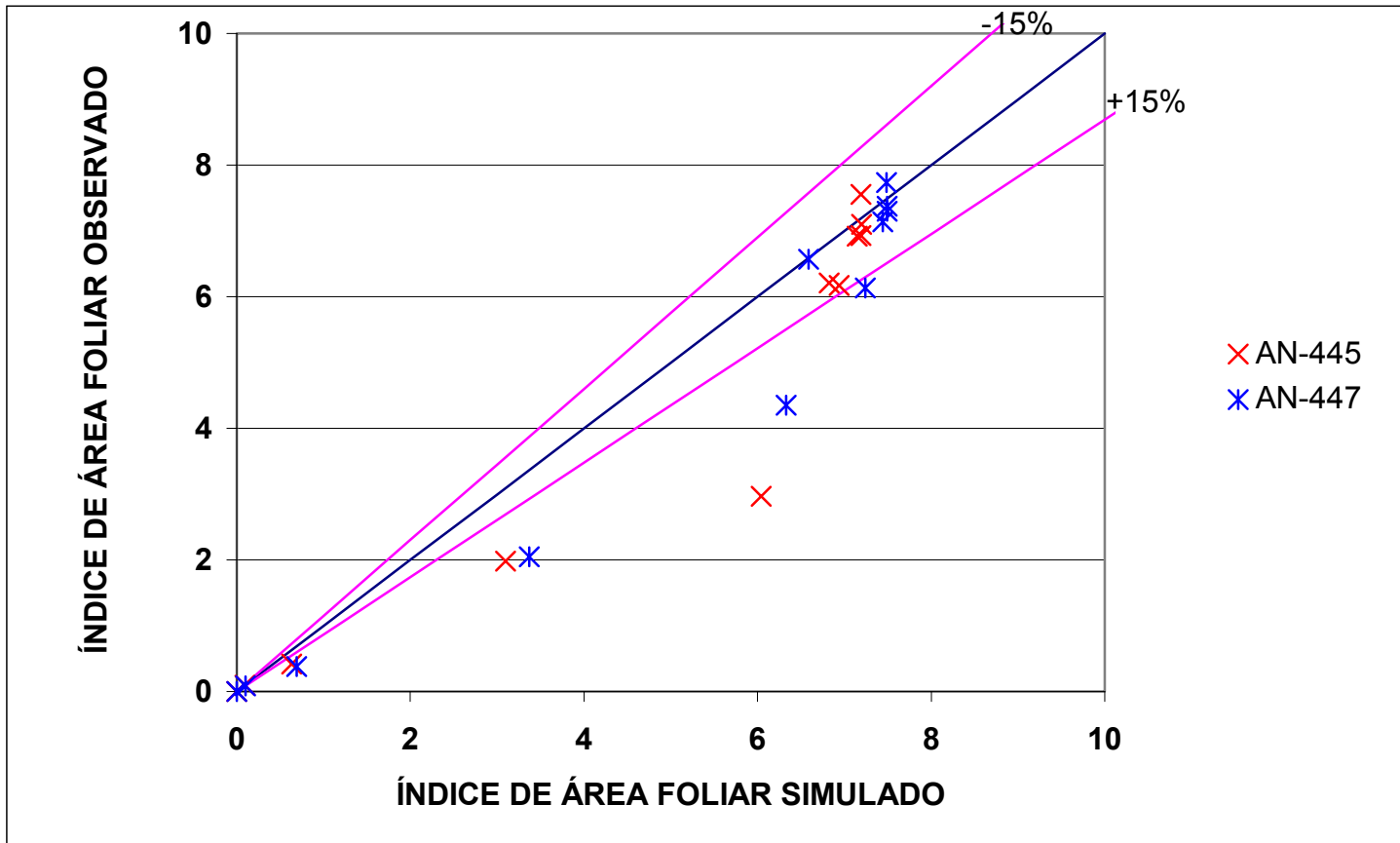


Figura 4.3. Comparación entre valores simulados y observados de IAF para los Híbridos AN-445 Y AN-447



#### 4.2. Materia seca acumulada.

En la figura 4.5 se presentan los datos simulados y los observados en campo de la acumulación de materia seca durante en ciclo del cultivo del híbrido AN-445; de estos se obtiene una comportamiento similar de materia seca en el ciclo. Por parte de los datos simulados el valor máximo de materia seca acumulada es de 27.57 toneladas por hectárea, mientras que en los datos observados se obtuvo un valor de 29.53 toneladas por hectárea. La diferencia obtenida entre el simulado y el observado es de 1.46 toneladas por hectárea favoreciendo los datos observados. Cuadro de valores A3 del apéndice.

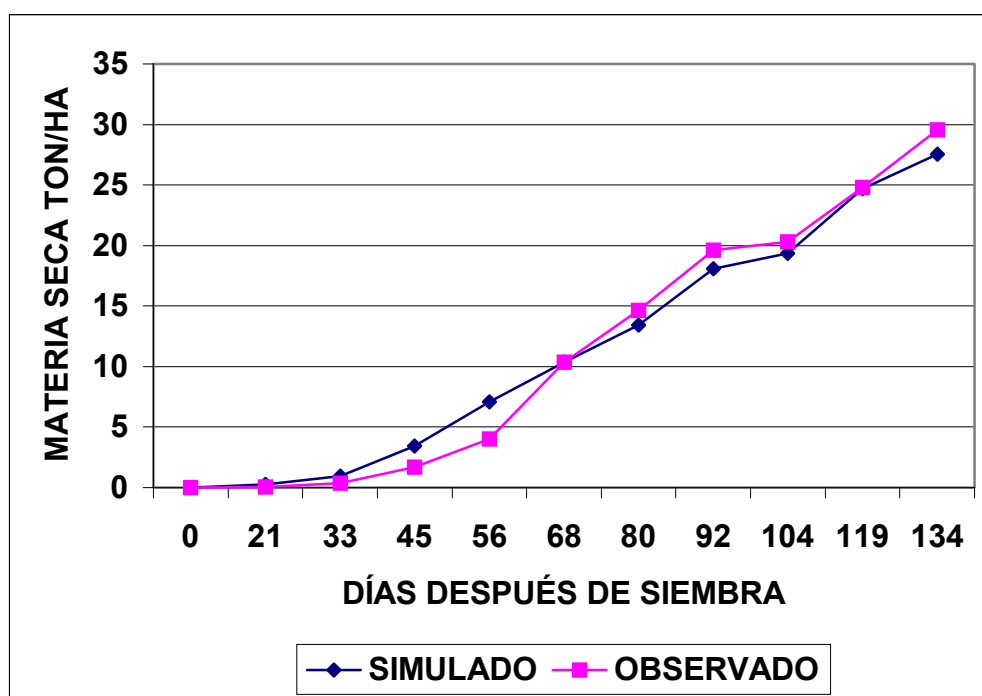


Figura 4.5 Acumulación de materia seca simulada y observada del híbrido AN-445 durante el desarrollo del cultivo.

En la figura 4.6 se presentan los datos simulados y los observados en campo de la acumulación de materia seca durante en ciclo del cultivo del híbrido AN-447; de estos se obtiene una comportamiento similar de materia seca acumulada en el ciclo. Por parte de los datos simulados el valor máximo de materia seca acumulada es de 29.26 toneladas por hectárea, mientras que en los datos observados se obtuvo un valor de 29.52 toneladas por hectárea. La diferencia obtenida entre el simulado y el observado es de 0.26 toneladas por hectárea a favor de los datos simulados. Cuadro de datos A4 del apéndice.

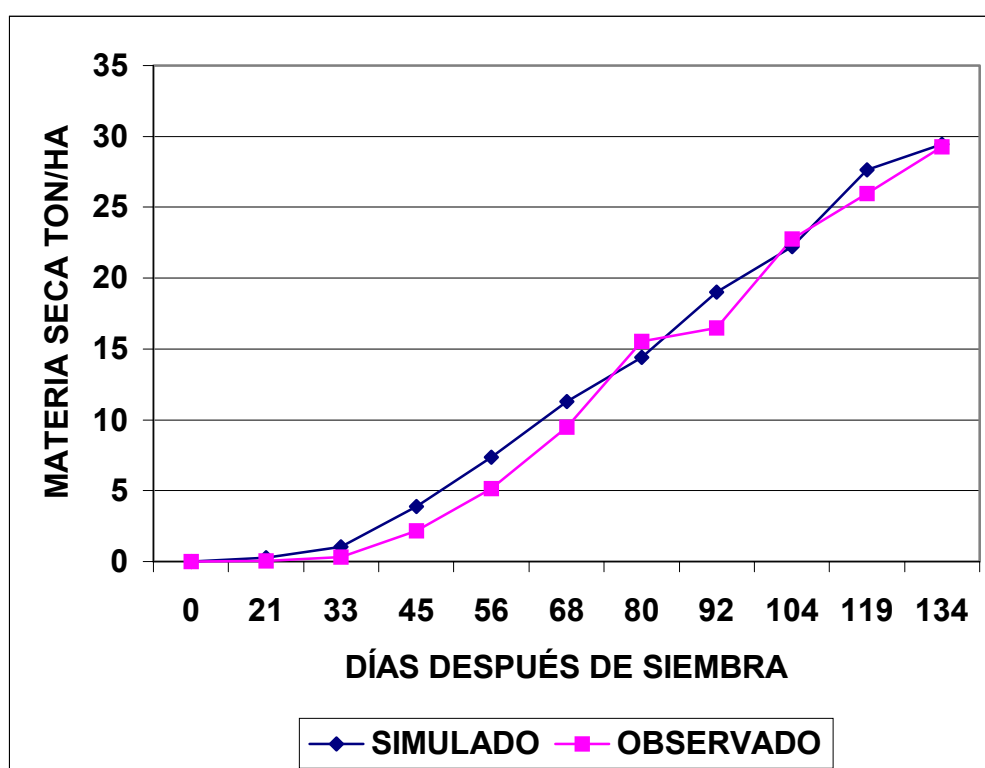


Figura 4.6 Acumulación de materia seca simulada y observada del híbrido AN-447 durante el desarrollo del cultivo.

Los valores simulados y observados de materia seca acumulada para los híbridos AN-445 y AN-447 presentan una desviación entre + 15% a excepción de la primera etapa del cultivo que debido al lento crecimiento de la planta, la acumulación de materia seca se ve disminuida. Figura 4.7

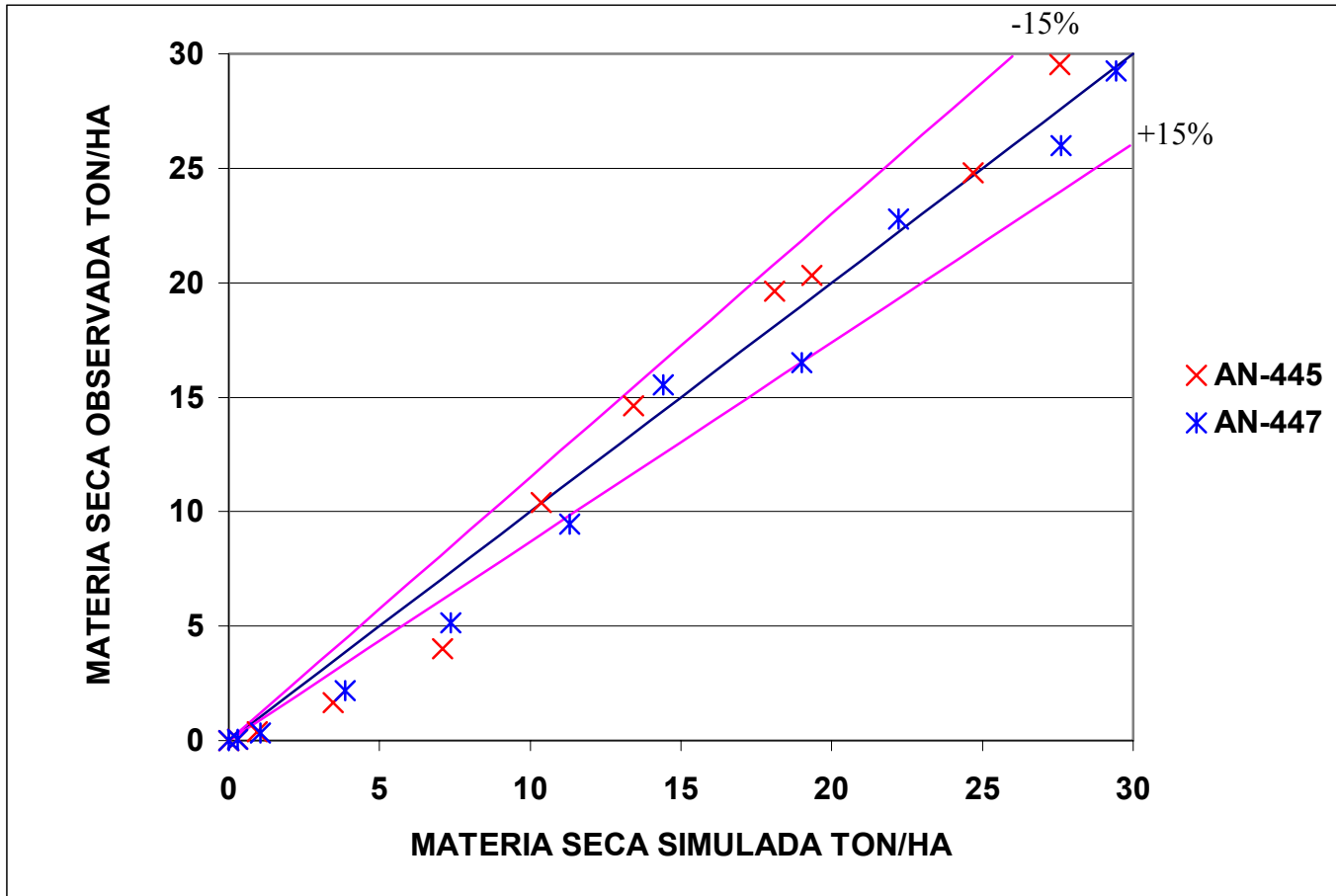


Figura 4.7 Comparación entre valores simulados y observados de MS para los Híbridos AN-445 Y AN-447

### 4.3. Rendimiento de grano.

En los valores de rendimiento de grano obtenidos por parte de los dos híbridos; se muestra que el modelo subestimó el rendimiento de grano con un valor máximo de 14.6 toneladas por hectárea para el híbrido AN-445, mientras que el rendimiento observado es de 10.93 toneladas por hectárea, la diferencia de 35.58 por ciento por hectárea. Para el híbrido AN-447 el valor de rendimiento simulado es de 15.6 toneladas por hectárea, mientras que el observado es de 12.01 toneladas por hectárea, el modelo sobreestima un valor de 29.89 por ciento por hectárea. Datos en cuadro A5 del apéndice.

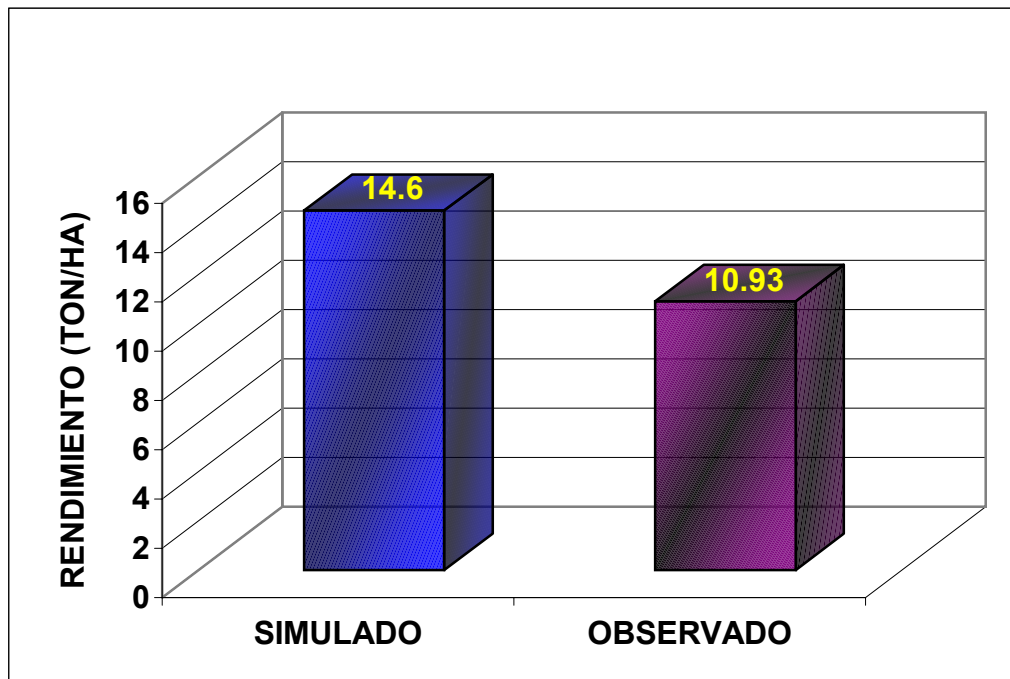


Figura 4.8. Rendimiento de grano simulado y observado en campo para el híbrido AN-445.

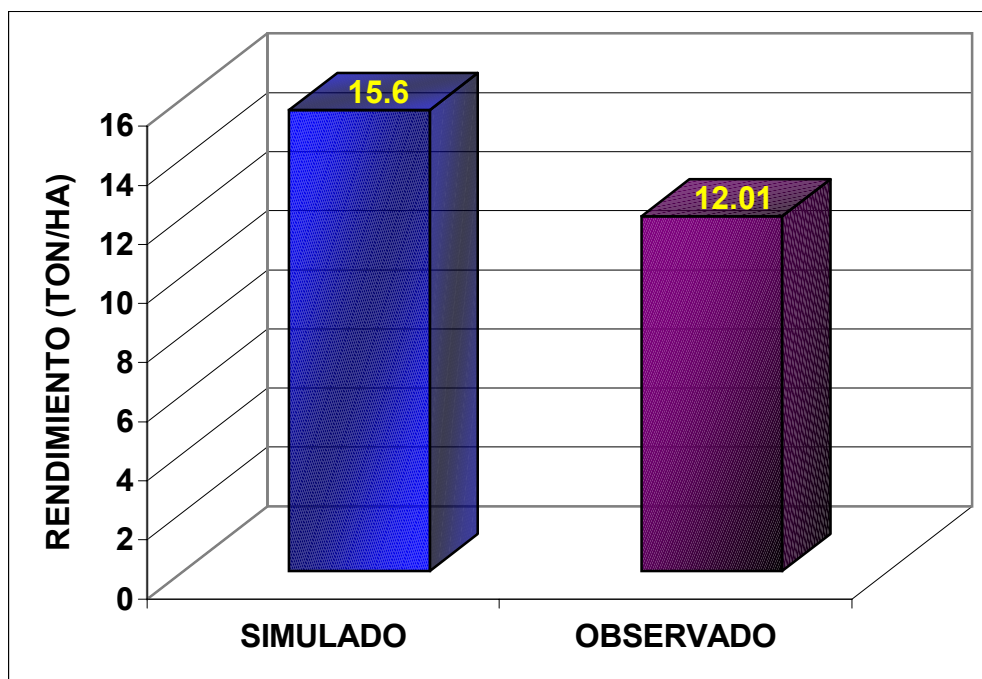


Figura 4.9. Rendimiento de grano simulado y observado en campo para el híbrido AN-447.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo planteado en el presente trabajo de investigación en la simulación con el modelo EPIC, fue realizada satisfactoriamente bajo las condiciones establecidas en el mismo.

El modelo simuló correctamente el índice de área foliar en mayor parte de desarrollo del cultivo, ubicándose un 80 por ciento de valores graficados en el rango permisible de  $\pm 15$  por ciento, a excepción de un valor desviado en un 42.67 por ciento, esto debido a un posible error de muestreo para el híbrido AN-445; mientras que para el híbrido AN-447, el 60 por ciento de los valores se encuentran en el rango permisible, el valor más desviado se ubicó en un 26.83 por ciento.

Para el híbrido AN-445, la acumulación de materia seca simulada y observada presentó un patrón similar, el cual se difiere en un 0.133 por ciento de materia seca para los datos observados. En el híbrido AN-447, la acumulación de materia seca simulada se vio favorecida con un 7.38 por ciento con respecto a la observada. El modelo EPIC simuló eficientemente.

El modelo sobrestima el rendimiento de grano para ambos híbridos, siendo de un 35.58 por ciento para el AN-445 y de 29.89 por ciento para el AN-447; estos resultados difieren representativamente de los datos reales de campo.

## **VI. RESUMEN**

Con el uso de modelos es posible predecir el comportamiento de un cultivo, un modelo comparado con el sistema que representa puede proporcionar

información a un costo menor y permitir el conocimiento anticipado de las condiciones que no se observan en la vida real. El objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad de predicción del modelo propuesto por Williams et al, (1984), en la simulación de índice de área foliar, materia seca acumulada y rendimiento de grano en maíz. Esta investigación se realizó en los terrenos de la UAAAN en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. cuyas coordenadas geográficas son 25° 21'20" de Latitud Norte y 101° 01'30" de Longitud Oeste y a una altitud media sobre el nivel del mar de 1743 m. En el área conocida como Jardín Hidráulico.

Los híbridos utilizados en esta investigación fueron el AN-447, AN-445 y cada material genético estuvo sembrada a una superficie de 120 m<sup>2</sup>, los muestreos para determinar los parámetros se realizaron cada 15 días tomando 6 plantas por muestreo para medir, la altura de la planta, número de hojas, índice de área foliar, materia seca, contenido de nitrógeno en la planta y sus partes, rendimiento total de los dos híbridos, el comportamiento de la humedad del suelo se consideró la tensión en centibares la cual se registraban diariamente obteniendo valores de tensión de 0 hasta 60 centibares a una profundidad de 30 cm, en el lugar de la investigación para la aplicación del riego bajo las mismas condiciones de manejo de agua y fertilizantes en dos híbridos de maíz.

Las variables evaluadas fueron índice de área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento de grano. Para realizar la simulación, se alimentó al modelo con datos de temperatura, humedad relativa, precipitación, insolación, viento, variables de viento y de cultivo.

Los resultados de la simulación indicaron que el modelo simuló convenientemente el índice de área foliar con un valor de 3.08 de diferencia entre los datos simulados y observados en campo para el híbrido AN-445, para el AN-447 el margen de diferencia entre los valores simulados y observados es de 1.98; la acumulación de materia seca en el híbrido AN-445 fue de 1.46 ton/ha a favor de los datos observados, mientras que en el híbrido AN-447 la diferencia es de 0.26 ton/ha favoreciendo los datos simulados. El rendimiento de grano obtenido en

los dos híbridos fue representativamente superior en la simulación que en los datos observados en campo.

## **VII. BIBLIOGRAFÍA.**

García C.I. y Briones, S.G. 1997. Sistemas de riego por aspersion y goteo.  
Editorial trillas. 263 P.



- Brown-RA; Rosenberg-NJ, 1997; Sensitivity of crop yield and water use to change in a range of climatic factors and CO<sub>2</sub> concentrations: a simulation study applying EPIC to the central USA Battelle, Pacific Northwest National Laboratory, Washington, DC 20024, USA. *Agricultural-and-Forest-Meteorology*. 1997, 83: 3-4, 171-203; 29 ref.
- Cabelguenne-M; Debaeke-PH; Borin-M (ed.); Sattin-M, 1994; Simulation of short term tactical irrigation under limited water resources. INRA Station d'Agronomie, BP27, 31326 Castanet Tolosan, France. Proceedings of the third congress of the European Society for Agronomy, Padova University, Abano-Padova, Italy, 18-22 September 1994. 1994, 328-329; 5 ref.
- Cabelguenne-M; Jones-CA; Williams-JR, 1993; Use of the EPIC model for research on optimum strategies for limited irrigation. Application to maize in southwestern France. INRA, Centre du Recherches de Toulouse-Station d'Agronomie, Castanet Tolosan, France. *Agricoltura-Mediterranea*. 1993, 123: 3, 181-190; 14 ref.
- Cazanga Solar, R.R 1991; Modelo climático de simulación de la productividad del trigo; Tesis; Ing. Agr. Santiago, Chile; Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias , Veterinarias y Forestales. Pp. 112
- Crofts, C. F., D. L. Jackson, D. M. Martin and J. C. Patrick, 1971; Los vegetales y sus cosechas; *Fundamentos de Agricultura Moderna*; 2da. Edición ; Aedos, Barcelona, España.
- Eck, H.V. 1986; Effects of water deficits on yield, yield components, and water use efficiency of irrigated corn; *Agronomy Journal*; Vol. 78: 1035-1040.
- Fisher, . J., E. C. Johndon y G. O. Edmeades, 1981; Mejoramiento y selección de maíz tropical para incrementar su resistencia a la sequía; CIMMYT; México.

Frey, N. M. 1982; Dry matter acumulation in kernels of maize; Crop Sci; Vol. 21; pp. 118-122

Geleta,-S.; Sabbagh,-G.J.; Stone,-J.F.; Elliott,-R.L.; Mapp,-H.P.; Bernardo,-D.J.; Watkins,-K.B., 1994; Importance of soil and cropping systems in the development of regional water quality policies. Journal-of-environmental-quality (USA). (Jan-Feb 1994). v. 23(1) p. 36-42.

Gerakis, P and A. D. Papacosta, 1979; Growth Dynamics of Zea Mays L. Populations differing in genotype and density and growth under illumonance stress; Ecol. Plant 14; pp. 13-26.

Gray,-A.W.; Harman,-W.L.; Richardson,-J.W.; Wiese,-A.F.; Regier,-G.C.; Zimmel,-P.T.; Lansford,-V.D., 1997; Economic and financial viability of residue management: an application to the Texas High Plains. Texas AandM University, College Station, TX. Journal-of-production-agriculture (USA). (Jan-Mar 1997). v. 10(1) p. 175-183.

IMTA, (1997); MANUAL PARA DISEÑO DE ZONAS DE RIEGO PEQUEÑAS; UACH; 1ª Edición; Jiutepec, Morelos, México; pp. 99

Karlen, D.L. y Sader, E.J. And C.R. Camp. 1987. Dry Matter, Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Accumulation Rates by Corn on Norfolk Loamy Sand. Agronomy Journal, Vol. 79 July – August 649 – 656 pp.

Keulen, H. Van and J., Wolf., 1986. Modelling of agricultural production weather, soils and crop. Simulation monographs. Pudoc. Wageningen.

Kiniry-JR; Major-DJ; Izaurrealde-RC; Williams-JR; Gassman-PW; Morrison-M; Bergentine-R; Zentner-RP, 1995; EPIC model parameters for cereal, oilseed, and

forage crops in the northern Great Plains region. USDA, Agricultural Research Service, Temple, TX 76503, USA. *Canadian-Journal-of-Plant-Science*. 1995, 75: 3, 679-688; 58 ref.

King,-K.W.; Richardson,-C.W.; Williams,-J.R., 1996; Simulation of sediment and nitrate loss on a vertisol with conservation tillage practices. USDA, ARS, Temple, TX. *Transactions-of-the-ASAE (USA)*. (Nov-Dec 1996). v. 39(6) p. 2139-2145.

Lacko-Bartosova, -M.; Kosovan; 1998; Validation of epic model in prediction of crop yields at nitra location. Slovenska Polnohospodarska Univ., Nitra (Slovak Republic). *Rostlinna-Vyroba-UZPI (Czech Republic)*. (Feb 1998). v. 44(2) p. 77-80

Martínez, G.O. 1994. Efecto del estrés hídrico Sobre el Rendimiento y Calidad del Grano en Girasol, Var. San-3C (*Heliantus annuus* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 75 P.

Mayaki, W.C., I.D. Teare and L.R. Stone, 1976. Top and root growth of irrigated and nonirrigated soybeans. *Crop Science*. Vol. 16 (1): 92-94

Parsons,-R.L.; Pease,-J.W.; Martens,-D.C., 1995; Simulating corn yields over 16 years on three soils under inorganic fertilizer and hog manure fertility regimes. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA. *Communications-in-soil-science-and-plant-analysis (USA)*. (1995). v. 26(7/8) p. 1133-1150.

Reed, A. J., G. W. Singletary, J. R. Schussler, D. R. Williamson, and A. L. Christy, 1988; Shding effects on dry matter and nitrgen partitioning kernel number, and yield of maize; *Crop Science*; Vol. 28; pp. 819-825.

- Rodríguez S. F. (1982); RIEGO POR GOTEIO; AGP EDITOR, S.A.; 1ª Edición; México 18 D.F. 1982; pp: 13-14.
- Rojas Peña. L., (2000); EL FRETIRRIEGO Y LA PLASTICULTURA; UAAAN; 1ª Edición; Saltillo, Coahuila, México; pp: 8-9
- Sabbagh,-G.J.; Bengtson,-R.L.; Fouss,-J.L., 1991; Modification of EPIC to incorporate drainage systems. Louisiana State University, Baton Rouge. Transactions-of-the-ASAE (USA). (Mar-Apr 1991). v. 34(2) p. 467-472.
- Tanaka, A. y Yamaguchi J. 1981; Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento de grano de maíz; traducción por Dr. Kohashi Shibata; Rama de Botánica; Colegio de posgraduados Chapingo, México; pp. 16-18.
- T-Tape. 1992. Words's leading choice for drip irrigation technology, User reference manual. T-Systems International, U.S.A.
- Valenzuela Ruíz, T. (1992). MEMORIAS DEL PRIMER SEMINARIO NACIONAL SOBRE RIEGO POR GOTEIO. Hermosillo, Sonora, México; pp 35-36 (Tomo 1).
- Waggoner, P.E. 1984. Agriculture and carbon dioxide. Am. Sci. Vol. 72: 171-184.
- Warner,-G.S.; Stake,-J.D.; Guillard,-K.; Neafsey,-J., 1997; Evaluation of EPIC for a shallow New England soil. I. Maize yield and nitrogen uptake. University of Connecticut, Storrs, CT. Transactions-of-the-ASAE (USA). (May-Jun 1997). v. 40(3) p. 575-593.

Whisler, F. D., Acock, D. N. Baker, R. E. Fye, H. F. Hodges, J. R. Lambert, H.E. Lemmon, J. M. Mckinion and V. R. Reddy, 1986; Crop simulation models in agronomic systems; Adv.Agron. 40; pp. 141-208.

Williams, J. R., C.A., Jones and T. Dyke, 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil product. Trans. Of the ASAE 129-144

Yurén, C. M.T. (1986). Leyes, teorías y Modelos; Editorial Trillas, 6<sup>a</sup> Reimpresión, sep. 1986; pp 53-70

## VIII. APÉNDICE

Cuadro A1, valores de índice de área foliar simulados y observados para el híbrido AN-445

<b>DDS</b>	<b>LAIs</b>	<b>LAIo</b>	<b>DIFERENCIA</b>
0	0	0	0
21	0.0956	0.090825	-0.004775
33	0.6301	0.412425	-0.217675
45	3.0958	1.98285	-1.11295
56	6.0425	2.964	-3.0785
68	6.942	6.168	-0.774
80	7.145	6.918	-0.227
92	7.1897	7.194	0.0043
104	7.1942	7.194	-0.0002
119	7.1986	7.194	-0.0046
134	6.8222	6.207	-0.6152

Cuadro A2, valores de índice de área foliar simulados y observados para el híbrido AN-447

<b>DDS</b>	<b>LAI<sub>s</sub></b>	<b>LAI<sub>o</sub></b>	<b>DIFERENCIA</b>
0	0	0	0
21	0.1	0.09	-0.01
33	0.6928	0.375203	-0.3175975
45	3.3685	2.043	-1.3255
56	6.3305	4.34655	-1.98395
68	7.2446	6.132	-1.1126
80	7.4423	7.38375	-0.05855
92	7.4829	7.38375	-0.09915
104	7.4894	7.38375	-0.10565
119	7.4937	7.38375	-0.10995
134	6.5842	6.565875	-0.018325

Cuadro A3, datos de Acumulación de materia seca simulada y observada en el híbrido AN-445

<b>DDS</b>	<b>MS<sub>o</sub> TON/HA</b>	<b>MS<sub>s</sub> TON/HA</b>
0	0	0
21	0.05527	0.2905
33	0.393	0.9545
45	1.672	3.4569
56	4.01667	7.0954
68	10.38833	10.3724
80	14.63	13.4168
92	19.635	18.0958
104	20.315	19.3522
119	24.79333	24.6877
134	29.53	27.5564

Cuadro A4, datos de Acumulación de materia seca simulada y observada en el híbrido AN-447

<b>DDS</b>	<b>MS<sub>o</sub> TON/HA</b>	<b>MS<sub>s</sub> TON/HA</b>
0	0	0
21	0.06213	0.2927
33	0.331	1.0582
45	2.174	3.867
56	5.15667	7.3653
68	9.46667	11.3
80	15.545	14.4184
92	16.50167	19.0059
104	22.78333	22.2115
119	25.98	27.6165
134	29.26	29.4392

Cuadro A5, rendimiento simulado y observado obtenidos de los híbridos AN-445 y AN-447.

<b>HÍBRIDO</b>	<b>RENDIMIENTO TON / HA</b>	
	<b>SIMULADO</b>	<b>OBSERVADO</b>
AN-445	14.6	10.93
AN-447	15.6	12.01

Cuadro A6. Parámetros adecuados de cultivo usados para correr el modelo EPIC, híbrido AN-447.

<b>PARAMETROS</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>
WA (biomass energy ratio)	40.0	40.0
HI	0.50	0.42



(harvest index)		
TB (optimal temp. for growth)	25.0	25.0
DMLA (maximum potencial LAI)	5.0	7.7
DLAI (fraction of season leaf area declines)	0.80	8.0
LAP1 (1 <sup>st</sup> point-leaf area curve)	15.05	22.05
LAP2 (2 <sup>nd</sup> point-leaf area curva)	50.95	50.95

Cuadro A7. Parámetros adecuados de cultivo usados para correr el modelo EPIC, híbrido AN-445.

<b>PARAMETROS</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUES</b>
WA (biomass energy ratio)	40.0	40.0
HI (harvest index)	0.50	0.42
TB (optimal temp. for growth)	25.0	25.0
DMLA (maximum potencial LAI)	5.0	7.5
DLAI (fraction of season leaf area declines)	0.80	8.0

LAP1 (1 <sup>st</sup> point-leaf area curve)	15.05	22.05
LAP2 (2 <sup>nd</sup> point-leaf area curva)	50.95	50.95

Cuadro A8, requerimientos de N, P y K durante el desarrollo del cultivo de maíz, según Karlen, D. L. (1987).

		GRAMOS ACUMULADOS POR 100,000 PLANTAS POR HA/DÍA		
Fecha	DDS*	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
10/06/99	0	0	0	0
11/06/99	1	276	36.8	368
12/06/99	2	552	73.6	736
13/06/99	3	828	110.4	1104
14/06/99	4	1104	147.2	1472
15/06/99	5	1380	184	1840
16/06/99	6	1656	220.8	2208
17/06/99	7	1932	257.6	2576
18/06/99	8	2208	294.4	2944
19/06/99	9	2484	331.2	3312
20/06/99	10	2760	368	3680
21/06/99	11	3036	404.8	4048
22/06/99	12	3312	441.6	4416
23/06/99	13	3588	478.4	4784
24/06/99	14	3864	515.2	5152
25/06/99	15	4140	552	5520
26/06/99	16	4416	588.8	5888
27/06/99	17	4692	625.6	6256
28/06/99	18	4968	662.4	6624

29/06/99	19	5244	699.2	6992
30/06/99	20	5520	736	7360
1/07/99	21	5796	772.8	7728
2/07/99	22	6072	809.6	8096
3/07/99	23	6348	846.4	8464
4/07/99	24	6624	883.2	8832
5/07/99	25	6900	920	9200
6/07/99	26	7176	956.8	9568
7/07/99	27	7452	993.6	9936
8/07/99	28	8500.8	1104	11684
9/07/99	29	9549.6	1214.4	13432
10/07/99	30	10598.4	1324.8	15180
11/07/99	31	11647.2	1435.2	16928
12/07/99	32	12696	1545.6	18676
13/07/99	33	13744.8	1656	20424
14/07/99	34	14793.6	1766.4	22172
15/07/99	35	15842.4	1876.8	23920
16/07/99	36	16891.2	1987.2	25668
17/07/99	37	17940	2097.6	27416
18/07/99	38	18988.8	2208	29164
19/07/99	39	20037.6	2318.4	30912
* Días después de la siembra.				
Continuación ... cuadro A.5				
		Gramos acumulados por 100,000 plantas por Ha/día		
Fecha	DDS*	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
20/07/99	40	21086.4	2428.8	32660
21/07/99	41	22135.2	2539.2	34408
22/07/99	42	23184	2649.6	36156
23/07/99	43	25171.2	2852	39468
24/07/99	44	27158.4	3054.4	42780
25/07/99	45	29145.6	3256.8	46092
26/07/99	46	31132.8	3459.2	49404
27/07/99	47	33120	3661.6	52716
28/07/99	48	35107.2	3864	56028
29/07/99	49	37094.4	4066.4	59340
30/07/99	50	39081.6	4268.8	62652
31/07/99	51	41823.2	4673.6	68264
1/08/99	52	44564.8	5078.4	73876
2/08/99	53	47306.4	5483.2	79488
3/08/99	54	50048	5888	85100
4/08/99	55	52789.6	6292.8	90712
5/08/99	56	55531.2	6697.6	96324

6/08/99	57	58272.8	7102.4	101936
7/08/99	58	61529.6	7571.6	107456
8/08/99	59	64786.4	8040.8	112976
9/08/99	60	68043.2	8510	118496
10/08/99	61	71300	8979.2	124016
11/08/99	62	74556.8	9448.4	129536
12/08/99	63	77813.6	9917.6	135056
13/08/99	64	81070.4	10386.8	140576
14/08/99	65	84327.2	10856	146096
15/08/99	66	87584	11325.2	151616
16/08/99	67	90840.8	11794.4	157136
17/08/99	68	94097.6	12263.6	162656
18/08/99	69	97354.4	12732.8	168176
19/08/99	70	100611.2	13202	173696
20/08/99	71	103868	13671.2	179216
21/08/99	72	107124.8	14140.4	184736
22/08/99	73	110160.8	14618.8	188968
23/08/99	74	113196.8	15097.2	193200
24/08/99	75	116232.8	15575.6	197432
25/08/99	76	119268.8	16054	201664
26/08/99	77	122304.8	16532.4	205896
27/08/99	78	125340.8	17010.8	210128
28/08/99	79	128376.8	17489.2	214360
29/08/99	80	131412.8	17967.6	218592
* Días después de la siembra.				
Continuación... cuadro A. 5				
		Gramos acumulados por 100,000 plantas por Ha/día		
Fecha	DDS*	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
30/08/99	81	134448.8	18446	222824
31/08/99	82	137484.8	18924.4	227056
1/09/99	83	140520.8	19402.8	231288
2/09/99	84	143556.8	19881.2	235520
3/09/99	85	146592.8	20359.6	239752
4/09/99	86	149628.8	20838	243984
5/09/99	87	152664.8	21316.4	248216
6/09/99	88	155700.8	21794.8	252448
7/09/99	89	158736.8	22273.2	256680
8/09/99	90	161772.8	22751.6	260912
9/09/99	91	164808.8	23230	265144
10/09/99	92	167844.8	23708.4	269376
11/09/99	93	170880.8	24186.8	273608
12/09/99	94	173916.8	24665.2	277840
13/09/99	95	176952.8	25143.6	282072
14/09/99	96	179988.8	25622	286304

15/09/99	97	183024.8	26100.4	290536
16/09/99	98	186060.8	26578.8	294768
17/09/99	99	189096.8	27057.2	299000
18/09/99	100	192132.8	27535.6	303232
19/09/99	101	195168.8	28014	307464
20/09/99	102	198204.8	28492.4	311696
21/09/99	103	201240.8	28970.8	315928
22/09/99	104	204276.8	29449.2	320160
23/09/99	105	207312.8	29927.6	324392
24/09/99	106	210348.8	30406	328624
25/09/99	107	213384.8	30884.4	332856
26/09/99	108	216420.8	31362.8	337088
27/09/99	109	219456.8	31841.2	341320
28/09/99	110	222492.8	32319.6	345552
29/09/99	111	225528.8	32798	349784
30/09/99	112	228564.8	33276.4	354016
1/10/99	113	231600.8	33754.8	358248
2/10/99	114	234636.8	34233.2	362480
3/10/99	115	237672.8	34711.6	366712
4/10/99	116	240708.8	35190	370944
5/10/99	117	243744.8	35668.4	375176
6/10/99	118	246780.8	36146.8	379408
7/10/99	119	249816.8	36625.2	383640
8/10/99	120	252852.8	37103.6	387872
9/10/99	121	255888.8	37582.0	392104
10/10/99	122	258924.8	38060.4	396336
* Días después de la siembra				
Continuación... cuadro A. 5				
		Gramos acumulado por 100,000 plantas por Ha/día		
Fecha	DDS*	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
11/10/99	123	261960.8	38538.8	400568
12/10/99	124	264996.8	39017.2	404800
13/10/99	125	268032.8	39495.6	409032
14/10/99	126	271068.8	39974	413264
15/10/99	127	274104.8	40452.4	417496
16/10/99	128	277140.8	40930.8	421728
17/10/99	129	280176.8	41409.2	425960
18/10/99	130	283212.8	41887.6	430192
19/10/99	131	286248.8	42366	434424
20/10/99	132	289284.8	42844.4	438656
21/10/99	133	292320.8	43322.8	442888
22/10/99	134	295356.8	43801.2	447120
23/10/99	135	298392.8	44279.6	451352
24/10/99	136	301428.8	44758	455584

25/10/99	137	304464.8	45236.4	459816
26/10/99	138	307500.8	45714.8	464048
27/10/99	139	310536.8	46193.2	468280
28/10/99	140	313572.8	46671.6	472512
29/10/99	141	316608.8	47150	476744
30/10/99	142	319644.8	47628.4	480976
1/11/99	143	322680.8	48106.8	485208
2/11/99	144	325716.8	48585.2	489440
3/11/99	145	328752.8	49063.6	493672
4/11/99	146	331788.8	49542	497904
5/11/99	147	334824.8	50020.4	502136
6/11/99	148	337860.8	50498.8	506368
7/11/99	149	340896.8	50977.2	510600
8/11/99	150	343932.8	51455.6	514832
9/11/99	151	346968.8	51934	519064
10/11/99	152	350004.8	52412.4	523296
11/11/99	153	353040.8	52890.8	527528
12/11/99	154	356076.8	53369.2	531760
13/11/99	155	359112.8	53847.6	535992
14/11/99	156	362148.8	54326	540224
15/11/99	157	365184.8	54804.4	544456
16/11/99	158	368220.8	55282.8	548688
17/11/99	159	371256.8	55761.2	552920
18/11/99	160	374292.8	56239.6	557152

\* Días después de siembra.