

# Calibración de DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) para tres Cultivares de Maíz (*Zea mays* L.) en el sur de Nuevo León, México

Camerino Rojas Montes<sup>1\*</sup>, Heriberto Díaz Solís<sup>1</sup>, Eduardo Aizpuru García<sup>1</sup>, Ramiro López Trujillo<sup>2</sup>, Froylán Rincón Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Recursos Naturales Renovables, <sup>2</sup>Departamento de Nutrición y Alimentos, <sup>3</sup>Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: rojasmc\_17@hotmail.com (\*Autor responsable)

## Abstract

**Calibration of DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) for Three Cultivars of Maize (*Zea mays* L.) in the South of Nuevo Leon, Mexico.** Simulation models are an alternative for prediction of crop behavior and an important research tool to shorten this process, even though this doesn't replace field experiments. The objective of this assay was to calibrate the DSSAT program (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) for three maize cultivars. This work was performed at the experimental station of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), located at Navidad, Galeana, N. L. The evaluated cultivars were: AN447, AN388 and A7573, the sowing was performed on May 5 and harvest on October 26, 2007, with a fertilizer dose 60–60–60. The experimental design was a randomized blocks one with three replications. The evaluated variables were: Partial Dry Matter (MSP), Partial Dry Matter of leaf (MSPH), Partial Dry Matter of Stem (MSPT), Partial Dry Matter of Grain (MSPG) and Leaf Area Index (IAF). The genetic coefficients obtained for calibration are: AN447 P1 = 355, P2 = 0.700, P5 = 540, G2 = 430, G3 = 12 and PHINT = 80; AN388 P1 = 375, P2 = 0.500, P5 = 500, G2 = 450, G3 = 11 and PHINT = 75; A7573 = 365 P1, P2 = 0.400, P5 = 500, G2 = 380, G3 = 8 and PHINT = 80. In general, DSSAT may be calibrated for maize and produce acceptable results.

**Key words:** Maize, genetic coefficients, simulation models, DSSAT.

## Resumen

Los modelos de simulación son una alternativa para predecir el comportamiento de un cultivo, es una herramienta importante de investigación de tal manera que puede acortar este proceso, sin que esto sustituya a los experimentos de campo. El objetivo en este trabajo fue calibrar el programa DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) para tres cultivares de maíz. El trabajo se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que se encuentra ubicado en Navidad, Galeana, N. L. Los cultivares evaluados fueron: AN447, AN388 y A7573, la siembra se realizó el 5 de mayo y la cosecha el 26 de octubre de 2007, se fertilizó con una dosis 60-60-60. EL diseño experimental fue bloques al azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: Materia Seca Parcial (MSP), Materia Seca Parcial en Hoja (MSPH), Materia Seca Parcial en Tallo (MSPT), Materia Seca Parcial en Grano (MSPG) e Índice de Área Foliar (IAF). Los coeficientes genéticos obtenidos para la calibración fueron los siguientes: AN447 P1=355, P2=0.700, P5=540, G2=430, G3=12 y PHINT=80; AN388 P1=375, P2=0.500, P5=500, G2=450, G3=11 y PHINT=75; A7573 P1=365, P2=0.400, P5=500, G2=380, G3=8 y PHINT=80. En general, DSSAT puede ser calibrado para maíz y producir resultados aceptables.

**Palabras clave:** Maíz, coeficientes genéticos, modelos de simulación, DSSAT.

## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más utilizado como forraje en la actividad ganadera del país por la alta producción de materia seca y por la excelente calidad nutritiva en el aporte de energía en la dieta de los animales.

En los países en vías de desarrollo, principalmente, existe un gran potencial para el uso de las tecnologías de simulación agrícola, por la gran urgencia de aumentar la capacidad de producción de ciertos cultivos, como el mencionado, y los escasos recursos para la realización de la investigación agrícola.

El uso de modelos de simulación es una alternativa mediante la cual es posible predecir el comportamiento de un cultivo, ya que es posible anticipar, con buen nivel de precisión, el crecimiento y desarrollo de un cultivo al efectuar un cambio en uno o varios componentes del sistema (genotipos, ambientes, fecha de siembra, fecha de cosecha, densidad de siembra, fertilización, riegos, etc.). De esta forma se puede agilizar el proceso de investigación, aunque se requiere de la validación de campo de los resultados simulados.

Los modelos de simulación de crecimiento y rendimiento de las plantas, cobraron importancia a partir del momento en que surgió la computadora como un instrumento con el cual se logró realizar y controlar a gran velocidad cálculos y procesos complicados que requieren una toma rápida de decisiones. Con estos modelos se ha simplificado la tarea de los investigadores agrícolas, ya que con un grupo de variables se pueden hacer predicciones para diferentes cultivos y tiempos y, con una serie de combinaciones de las mismas, se pueden llegar a establecer las condiciones necesarias para que cada cultivo se desarrolle con todo su potencial en una región determinada (Téllez, 2000). De ahí que los modelos de simulación en las actividades agrícolas han sido desarrollados básicamente para cubrir tres aspectos: primero, para ayudar a entender fenómenos dentro de un sistema; segundo, como herramienta de investigación y tercero, para monitorear el crecimiento y desarrollo de los cultivos a nivel comercial.

Los modelos de simulación se dividen en icónicos que son una representación física a escala, los empíricos o correlativos, que describen las relaciones entre cultivo y ambiente sin referirse a un seguimiento biológico o físico que existe entre las variables gobernantes del crecimiento y desarrollo del cultivo, para este tipo de modelos la herramienta es la estadística, los analógicos que se basan en la analogía entre los sistemas, en tanto que los mecanicistas se basan en conocimientos detallados del funcionamiento del sistema (Whisler *et al.*, 1986). El modelo utilizado en este estudio es de tipo mecanicista.

El objetivo de este trabajo fue calibrar el programa DSSAT para tres cultivares de maíz (AN447, AN388 y A7573) para el sur del estado de Nuevo León, México.

## Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en terrenos del campo agrícola experimental de Navidad propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El campo se ubica dentro del municipio de Galeana, N. L., geográficamente se encuentra entre las coordenadas 25° 02' LN, 100° 37' LO y a una altura de 1,895 msnm, el clima es semiseco, templado muy extremo, con lluvias todo el año. La temperatura media anual es de 14.3 °C,

con máximas extremas de 40 °C y mínimas de -5 °C en el mes de Enero. La precipitación media anual es de 516 mm distribuidos entre los meses de abril a octubre, que es cuando ocurre el 79 % del total anual. El periodo libre de heladas es de mayo a septiembre. La evaporación media anual es de 1,116.7 mm. Siendo agosto el mes de mayor evaporación (Mendoza, 1983). Los suelos en la región de Navidad se caracterizan por ser suelos de textura de migajón limoso y de color crema a claros, localizados en valles y extensas llanuras, presentan contenidos bajos de materia orgánica, son de pH medianamente alcalino y profundos. Medianamente ricos en fósforo asimilable y extremadamente ricos en potasio intercambiable y pobres en nitrógeno.

Los tratamientos (variedades) utilizados en este experimento fueron: T1 = AN447, T2 = AN388 y T3 = A7573, la siembra se realizó el 3 de mayo de 2007 en parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) con una población de 100,000 plantas ha<sup>-1</sup> en el cultivar AN447, 86,000 plantas ha<sup>-1</sup> en AN388 y 45,500 plantas ha<sup>-1</sup> en el cultivar A7573, al momento de la siembra se fertilizó con una dosis 60–60–60 siendo la fuente el 17–17–17, para la distribución de los tratamientos se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones.

## Variables de respuesta

**Emergencia.** Este muestreo se realizó a la primera y segunda semana después de la siembra y consistió en cortar el número de plantas emergidas en tres surcos (10 m) seleccionados al azar dentro de cada unidad experimental.

**Fenología.** Este monitoreo fue semanal, se midió la altura y se contó el número de hojas en cinco plantas seleccionadas al azar dentro de cada unidad experimental.

**Materia seca.** Se cortaron tres plantas, elegidas al azar dentro de cada unidad experimental, se metió en bolsa de papel, se secó en una estufa a 65 °C por 72 h y se pesó; de los tres pesos se sacó una media para obtener el peso por planta.

**Componentes del rendimiento.** Se utilizaron las mismas plantas que se cortaron para materia seca, enseguida se separaron manualmente los componentes del rendimiento: hoja, tallo, espiga y elote, después se secaron en estufa a 65 °C durante 72 h y se pesaron. Con sus valores en la submuestra se determinó su porcentaje dentro de la materia seca.

**Índice de área foliar (IAF).** De las tres plantas que se utilizaron para materia seca, el componente hoja se utilizó para determinar el área foliar que se cuantificó con un medidor de área foliar portátil LICOR mod. LI-3100A. Para estimar IAF se utilizaron los datos de muestreo de población de plantas en una hectárea, se estimó el área que ocupaban las tres plantas cortadas y finalmente se

dividió el área foliar entre la superficie que ocupaban estas plantas.

### Datos climáticos

Los datos climáticos utilizados se obtuvieron de una estación climática automática (Davis Vantage Pro 2) que se instaló al inicio del experimento, los datos diarios que se utilizaron fueron: temperatura mínima, máxima y radiación solar.

### Índices agroclimáticos

Se calcularon grados día de desarrollo (GDD) de acuerdo a las fórmulas propuestas por Raiput (1980):

$$\text{Grados día de desarrollo ó GDD} = \sum_{i=1}^n (\bar{T}_i - T_{base})$$

$$T_i = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \quad \bar{T}_i = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2}$$

Donde:

$T_i$  = Temperatura media diaria para el día.

$T_{max}$  = Temperatura máxima para el día

$T_{min}$  = Temperatura mínima para el día

$T_{base}$  = Temperatura base (8 °C)

### Radiación solar acumulada

Los datos de radiación solar en la estación climática se registraron cada media hora en watts m<sup>-2</sup> pero para la construcción de los modelos se requerían en unidades de MJ/m<sup>2</sup>/d<sup>-1</sup> para hacer esta conversión se hizo lo siguiente:

Se sumaron los datos de radiación solar de un día, se dividió entre 48 para obtener la radiación en watts m<sup>-2</sup> por segundo, posteriormente se multiplicó por 86,400 (segundos en 24 h) el resultado era en J m<sup>-2</sup> d y este último se dividió entre 1, 000,000 para obtener la radiación acumulada en MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

### Descripción del programa DSSAT

DSSAT es un programa que ayuda a simular o predecir el desarrollo y producción de un cultivo en base a información ambiental y de manejo proporcionada por el usuario este fue creado como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la transferencia de agro tecnología desde el año de 1982 (Uehara and Tsuji, 1998).

El programa DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) está diseñado para permitir a los usuarios (Jones *et al.*, 1998):

- Cargar, organizar y almacenar datos de cultivos, suelos y meteorológicos.
- Recuperar, analizar y mostrar información.
- Calibrar y evaluar los modelos de crecimiento de cultivos.
- Evaluar diferentes prácticas de manejo en diferentes sitios.

En la adaptación y aplicación de DSSAT para una localidad los usuarios normalmente usan el siguiente procedimiento (Jones, 1993):

1. Llevar a cabo el experimento en campo en uno o más cultivos y coleccionar un conjunto de datos mínimo requerido para correr y evaluar un modelo de cultivo. El experimento de campo es necesario para calibrar los cultivares de la localidad. Correr el modelo usando los nuevos datos para evaluar la habilidad del modelo para predecir el comportamiento del cultivo en la región de interés. En muchos casos, son usados los datos previos del experimento. El modelo es modificado si la evaluación demuestra que no alcanza el nivel de precisión requerido.
2. Cargar los datos de suelo y datos meteorológicos históricos para los sitios de la región. Revisar la calidad de suelo y datos meteorológicos. Realizar el análisis de sensibilidad en el modelo de cultivo para tener una visión general de la respuesta del modelo para el manejo de prácticas alternativas y condiciones meteorológicas.
3. Seleccionar un conjunto de nuevas prácticas de manejo y simular cada uno de estos conjuntamente con prácticas existentes por un número determinado de años para predecir el comportamiento y la incertidumbre asociada con cada una de las prácticas. Comparar las prácticas alternativas usando medias, varianzas y distribución de la probabilidad acumulativa del rendimiento simulado, uso de agua, longitud de la estación, aplicación de nitrógeno, la ganancia neta y otras respuestas. Proveer resultados y recomendaciones para tomar decisiones.

### Carga de datos a DSSAT

#### Archivo de manejo del cultivo (Archivo X)

Este archivo es indispensable para poder simular el experimento, contiene 8 secciones en las cuales se cargó la siguiente información:

1. **Detalles experimentales:** en esta sección se capturaron características del experimento como código y nombre del experimento, año y cultivo, en información general los nombres de los investigadores participantes en el experimento sus direcciones y el sitio del experimental, también esta sección se capturaron la información de las parcelas.
2. **Tratamientos:** los nombres de los tratamientos, y la especificación de los niveles de los factores de los tratamientos (cultivar, análisis de suelo, condiciones iniciales, detalles de plantación, manejo del riego, manejo de fertilizante, manejo de residuos, aplicación de agroquímicos, cosecha y controles de simulación).
3. **Cultivares:** en esta sección se seleccionó el cultivar con que se trabajó (AN447, AN388 y A7573), previo a esto se cargaron los tres nuevos cultivares de maíz dentro del archivo CUL.

4. **Campos:** identificador de campo, estación meteorológica, tipo de drenaje, profundidad de drenaje, textura del suelo, profundidad del suelo y nombre del suelo.

5. **Condiciones iniciales:** cultivo previo al experimento, fecha de la medición de las condiciones iniciales, peso de las raíces del cultivo previo.

6. **Detalles de siembra:** fecha de siembra, fecha de emergencia, método de siembra, densidad de siembra, densidad de plantas a la emergencia, espaciamiento entre surcos, profundidad de siembra.

7. **Manejo de riego:** no se tomó en cuenta para correr el modelo (el modelo se corrió sin limitación de agua).

8. **Nivel de manejo de fertilizantes:** fecha de fertilización, nombre del fertilizante utilizado, dosis de aplicación de N, de P y de K.

#### Archivo de datos de suelo (\*.SOL)

Se capturaron datos como color, drenaje, pendiente, factor de fertilidad y la descripción por capas del perfil del suelo en esta sección se cargaron los siguientes datos: profundidad de la capa en cm, nombre del horizonte, porcentaje de arcilla, porcentaje de limo, porcentaje de arena, porcentaje de carbono orgánico, porcentaje de nitrógeno total, contenido de  $\text{CaCO}_3$  expresados en  $\text{g kg}^{-1}$ .

#### Archivo de datos climáticos (\*.WTH)

Para correr el modelo se cargaron datos diarios del tiempo meteorológico durante el período de la simulación (año 2007), en este archivo se capturó información de la localización de la estación como localidad, estado, país, latitud, longitud, elevación y los datos de clima los cuales fueron temperatura mínima y máxima diarias expresadas en grados centígrados, radiación solar diaria en  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$  y precipitación diaria en mm.

#### Archivo de datos observados

En el archivo A se cargaron los datos de rendimiento a la madurez y datos máximos observados en el experimento y días julianos de eventos importantes del cultivo. Las variables observadas son las siguientes:

- HWAM: rendimiento de grano a madurez ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
- HWUM: peso seco de cada grano cosechado (g)
- H#AM: número de granos por metro cuadrado a madurez
- H#UM: número de granos cosechados por unidad (planta), a madurez
- LAIX: índice de área foliar máximo
- CWAM: peso seco de la biomasa aérea (rastroy+granos)

a madurez ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

– BWAH: peso seco del rastrojo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

– ADAT: fecha de antesis (día juliano)

– MDAT: fecha de madurez fisiológica (día juliano)

En el archivo T se capturaron los datos de las diferentes fechas de muestreo de las variables observadas durante el período de simulación, la información necesaria en este apartado son: fecha (día juliano), índice de área foliar, peso seco del tallo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), peso seco de la hoja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), peso seco del grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y peso seco de la biomasa aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

#### Archivo \*.CUL

En este archivo se cargaron los parámetros que caracterizan a los cultivares (coeficientes genéticos) utilizados en este experimento, el contenido de este archivo es el siguiente:

- VAR#: Código de identificación o número de cada variedad
- VAR-NAME: Nombre de la variedad
- ECO# Código del ecotipo al que pertenece el cultivar
- P1: Tiempo térmico (expresado en grados día sobre una temperatura base de  $8^\circ\text{C}$ ) para el subperíodo que va desde la emergencia de la plántula hasta el final de la fase juvenil, durante el cual la planta no responde a cambios en el fotoperíodo.
- P2: Retraso del desarrollo del cultivo (expresado en días) por cada hora de incremento en el fotoperíodo por encima de un valor umbral de 12.5 h.
- P5: Tiempo térmico (expresado en grados/día sobre una temperatura base de  $8^\circ\text{C}$ ), desde la antesis hasta madurez fisiológica.
- G2: Máximo número posible de granos por planta.
- G3: Tasa de llenado de granos durante la fase lineal, bajo condiciones óptimas ( $\text{mg d}^{-1}$ ).
- PHINT: Intervalo del filocrono; tiempo térmico (expresado en grados/día), entre apariciones sucesivas de ápices foliares.

#### Calibración de DSSAT para los tres cultivares

La calibración se hizo mediante la modificación de los coeficientes genéticos del archivo \*.CUL (P1, P2, P5, G2, G3, PHINT), con la finalidad de reducir la diferencia de datos observados y simulados de cada cultivar y así minimizar la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE) y acercar el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) a 1.

## Resultados y Discusión

Los coeficientes genéticos obtenidos para los tres cultivares de maíz en la calibración de DSSAT se presentan en el Cuadro 1, los coeficientes genéticos obtenidos en este trabajo difieren un poco de los que se encuentran dentro del programa DSSAT, ya que los trabajos fueron realizados en ambientes y con genotipos muy diferentes a los de este experimento.

**Cuadro 1.** Coeficientes genéticos utilizados para la calibración de DSSAT

Cultivar	Coeficientes Genéticos*					
	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
AN447	355	0.700	540	430	12	80
AN388	375	0.500	500	450	11	75
A7573	365	0.400	500	380	8	80

\*Descritos en *Materiales y Métodos*

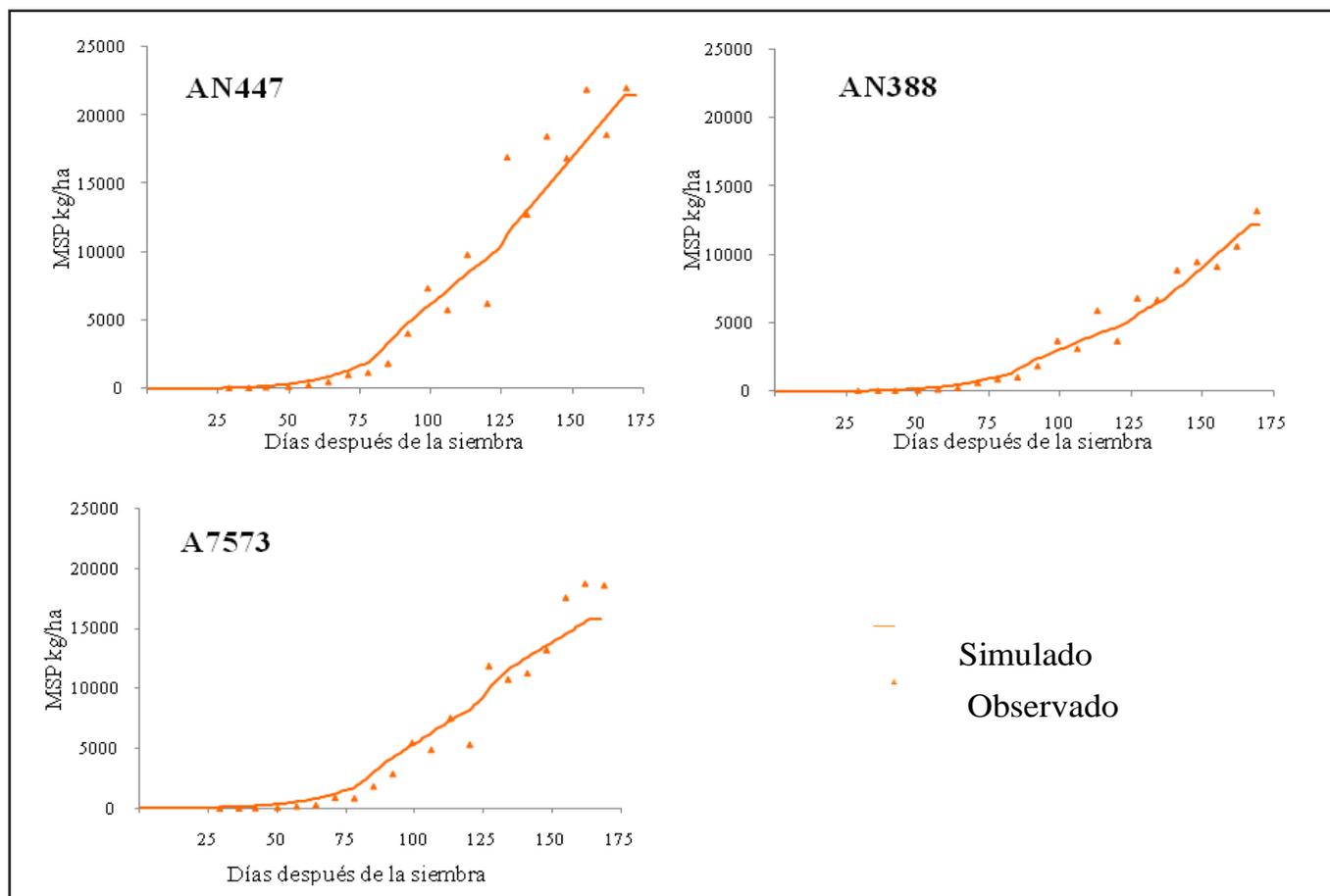
Los valores de los coeficientes genéticos de los cultivares que se encuentran en el archivo \*.CUL en la base de datos

de DSSAT se presentan en el Cuadro 2.

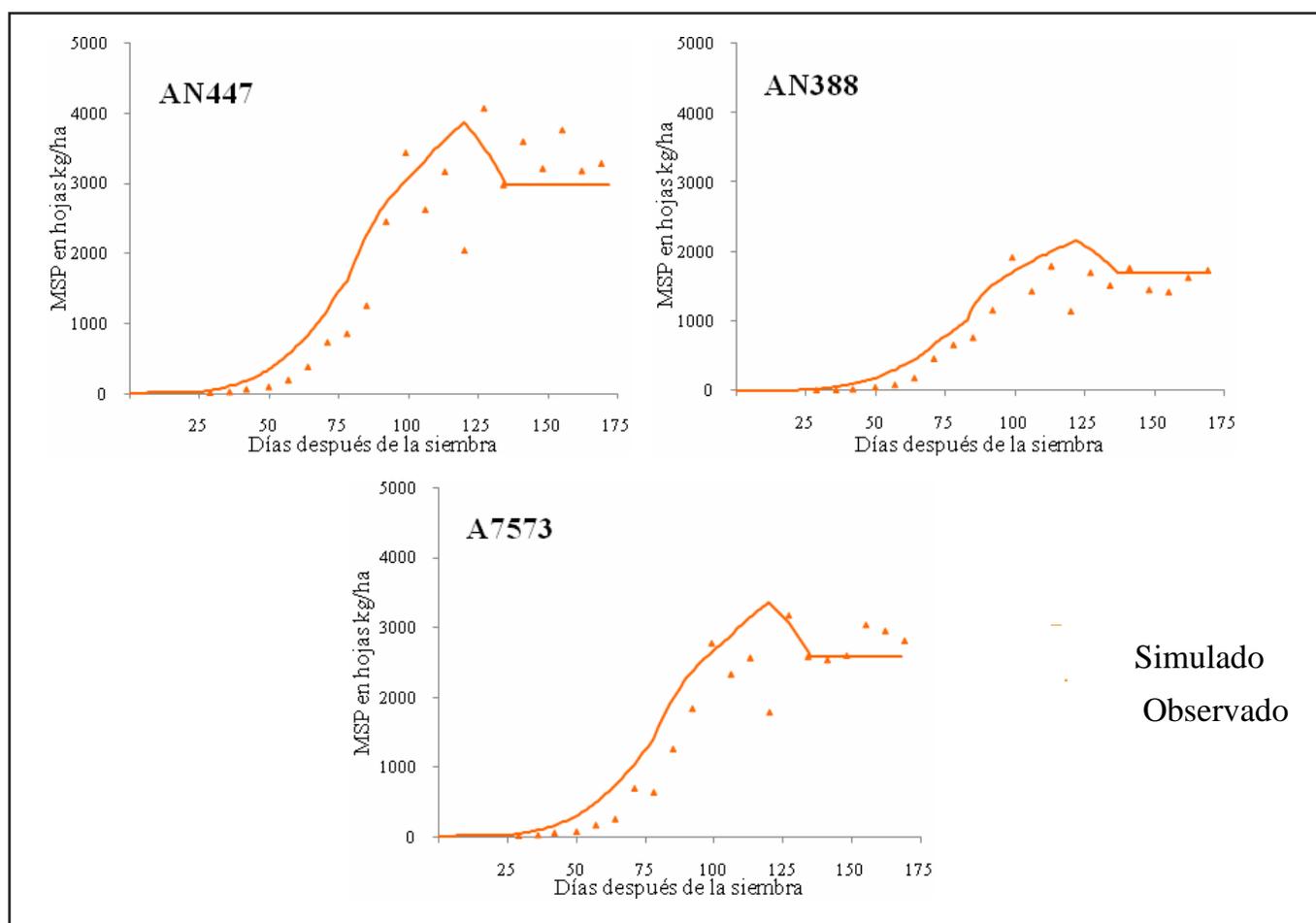
**Cuadro 2.** Rangos de los coeficientes genéticos reportados en la base de datos de DSSAT

Coeficientes Genéticos					
P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
110–450	0–0.800	625–1000	248–990	6–13	30–50

Los cultivares reportados en la base de datos de DSSAT, son sembrados en Georgia, Carolina del Sur, Hawaii y Iowa en EUA y en Zaragoza, España; no hay trabajos realizados en México. Por ejemplo, los materiales evaluados en este trabajo muestran un mayor filocrono (PHINT; tiempo térmico entre la aparición de ápices de hojas sucesivas) que los materiales reportados para Georgia. Una explicación para esto es que los materiales de bajas latitudes requieren mas GDD para producir una hoja, ya que se han desarrollado en ambientes con mayor temperatura y que los materiales de altas latitudes deben ser de ciclo más corto, al haberse desarrollado en ambientes con menor temperatura.



**Figura 1.** Acumulación de Materia seca parcial (biomasa total) observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, N. L., México.



**Figura 2.** Acumulación de materia seca parcial en hojas observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, N. L., México.

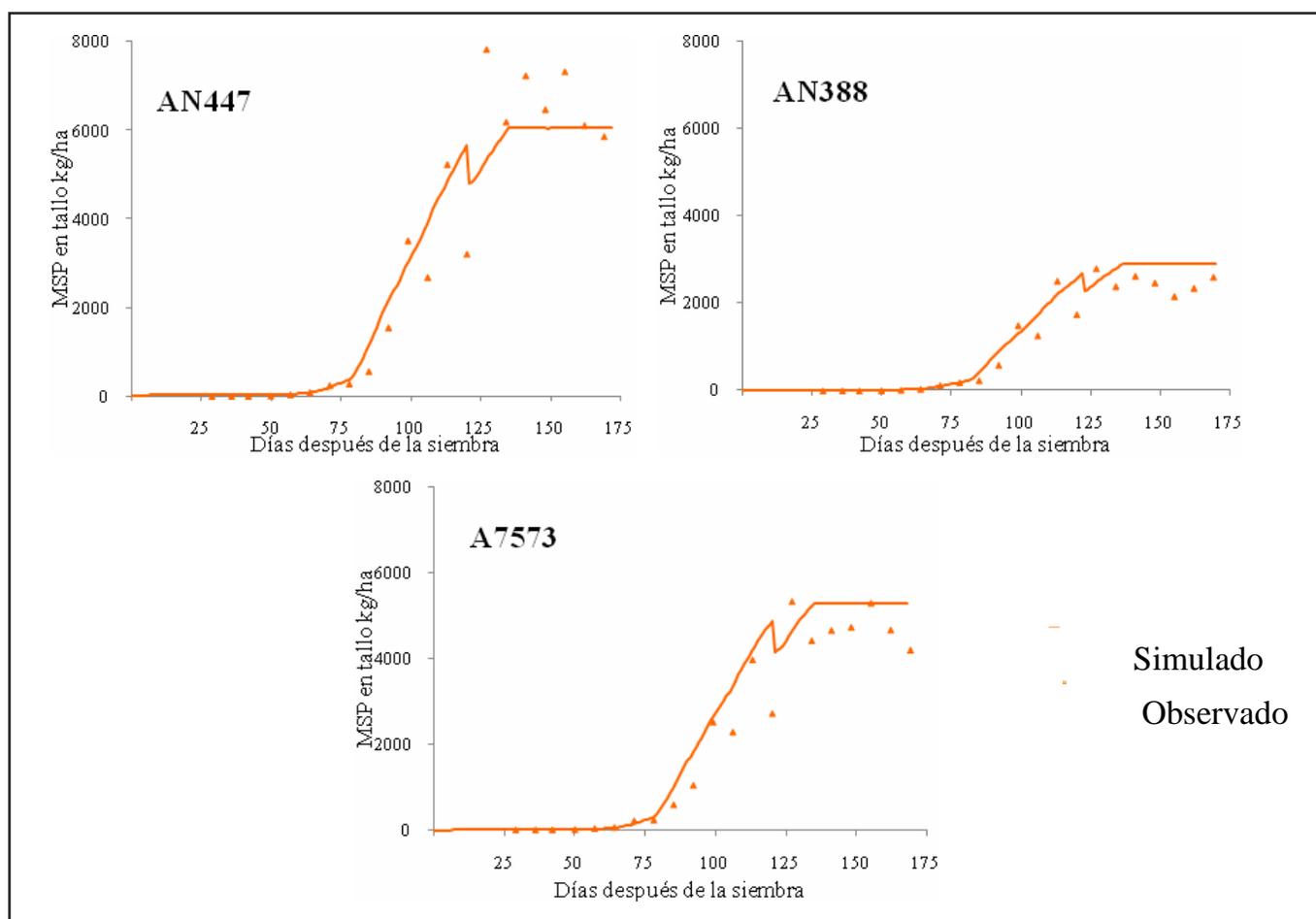
### Materia seca parcial

La variable MSP se simuló adecuadamente ya que al hacer la comparación de los simulados con los observados (Figura 1) existe una diferencia mínima en el comportamiento durante el ciclo del cultivo en los tres cultivares; los valores estadísticos son los siguientes: raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE) y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ). Estos valores son aceptables en la simulación de MSP, en el cultivar AN447 se obtuvo un valor de RMSE de 1,970 kg ha<sup>-1</sup> con  $r^2$  de 0.94, para el cultivar AN388 el valor de RMSE fue de 744 kg ha<sup>-1</sup>, con  $r^2$  de 0.96 y para el A7573 los valores estadísticos de RMSE y  $r^2$  fueron de 95 y 1,405 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Los rendimientos de MSP a la cosecha los errores entre los observados y los simulados fueron bajos, el error existente para cultivar AN447 fue de 544 kg ha<sup>-1</sup> esto representa el 2.5 % del total, para AN388 fue de 964 kg ha<sup>-1</sup> lo que representa el 7.3 % y en A7573 el error fue de 687 kg ha<sup>-1</sup> lo que representa el 3.7 % del rendimiento total observado, en los tres casos el error se encuentra por debajo del 8 % entre los simulados y los observados.

Cabelguenne *et al.* (1986) mencionan que una desviación de  $\pm 15$  %, es el límite de la variabilidad corriente en experimentación agrícola, y que este rango de desviación, debe ser considerado como un límite confiable de simulación.

### Materia seca parcial en hojas

En la MSP del componente hoja fue simulada de forma aceptable, al comparar el comportamiento observado en la acumulación de esta variable es similar al observado (Figura 2), aunque con una ligera sobreestimación de esta variable en los primeros 100 días después de la siembra, pero la diferencia es muy baja, los valores estadísticos fueron los siguientes: para el cultivar AN447 el valor de RMSE fue de 612 kg ha<sup>-1</sup> con  $r^2$  de 0.83, para AN388 en RMSE fue de 320 kg ha<sup>-1</sup> y el coeficiente de correlación de 0.89 y en el cultivar A7573 fue de 511 kg ha<sup>-1</sup> y 0.85 de RMSE y  $r^2$  respectivamente. El comportamiento simulado de la acumulación de MSP en la hoja alcanza el valor máximo a los 120 días después la siembra cuando termina la etapa vegetativa, después comienza un decrecimiento hasta llegar al comienzo de llenado de grano (136 días



**Figura 3.** Acumulación de materia seca parcial en tallos observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, Nuevo León, México.

después de la siembra) después de esta fecha el modelo simula la biomasa en hoja como constante hasta la cosecha.

### Materia seca parcial en tallo

La acumulación de materia seca parcial en el componente tallo se observa en la Figura 3, esta variable se simuló de manera aceptable, en el comportamiento observado en el simulado se aprecia una ligera diferencia, los coeficientes de determinación encontrados fueron: 0.90, 0.94 y 0.93 para AN447, AN388 y A7573 respectivamente, el valor RMSE calculado fue de 928 kg ha<sup>-1</sup> para el primer cultivar, 358 kg ha<sup>-1</sup> para el segundo y 662 kg ha<sup>-1</sup> para el terceror.

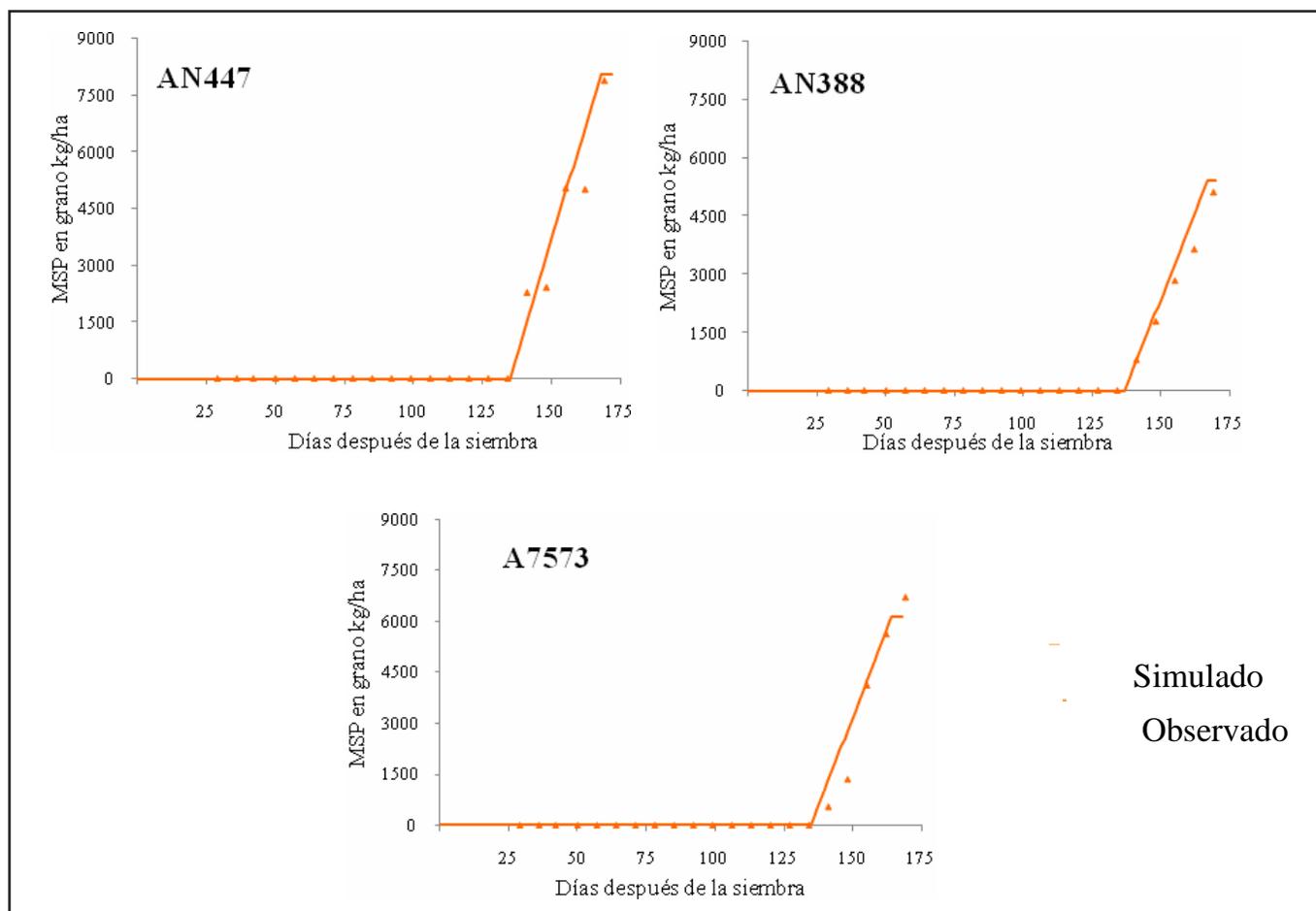
### Materia seca parcial en grano

El rendimiento en grano fue simulado de manera adecuada, el comportamiento de los valores observados y simulados son semejantes (Figura 4), los valores estadísticos son los siguientes: para el cultivar AN447 la r<sup>2</sup> fue de 0.88 y RMSE de 872 kg ha<sup>-1</sup>, para el cultivar 388 la r<sup>2</sup> tuvo un valor de 0.98 y RMSE de 474 kg ha<sup>-1</sup> y para el cultivar A7573 tuvo los valores de 0.96 y 784 kg ha<sup>-1</sup> de r<sup>2</sup> y RMSE respectivamente. El rendimiento grano simulado a la madurez para el cultivar AN447 fue de 8,066

kg ha<sup>-1</sup> y el observado de 7,899 kg ha<sup>-1</sup> el simulado sobrestima con 323 kg/ha, este error es mínimo en comparación con lo reportado por Téllez (2000), este autor reporta una subestimación de 4,051 kg ha<sup>-1</sup> para este cultivar, al utilizar el modelo EPIC con diferentes condiciones de humedad en el suelo siendo sus valores observado y simulado de 10,554 y 6,502 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente; para AN388 fue de 5,437 kg ha<sup>-1</sup> de rendimiento simulado y 5,114 kg ha<sup>-1</sup> en el observado y para el cultivar A7573 los valores de grano en el simulado y observado a la madurez fueron 6,122 y 6716 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

### Índice de Área Foliar

Esta variable fue simulada adecuadamente, el comportamiento de los simulados con los observados son semejantes (Figura 5), los valores estadísticos para el cultivar AN447 fue de 0.84 de r<sup>2</sup> y RMSE de 0.74, para el cultivar AN388 el valor de la r<sup>2</sup> fue de 0.79 y RMSE de 0.47 y para el cultivar A7576 la r<sup>2</sup> fue de 0.77 y RMSE de 0.76. En más del 50 % de los puntos observados en el cultivo, DSSAT sobreestima estos valores. Los valores de IAF máximo para cada cultivar es como sigue: para el



**Figura 4.** Acumulación de materia seca parcial en granos observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, N. L., México.

AN447 se encontró el valor máximo de IAF simulado a los 122 días después de la siembra con 5 y en los datos observados fue a los 127 días después de la siembra con un valor de 5.3, el error encontrado fue de 0.7 de IAF, con una diferencia de 5 días. Para el cultivar AN388 el valor máximo simulado fue a los 122 días con 2.65 y el observado fue a los 99 días después de la siembra con un valor de 2.3 y para A7573 el valor máximo simulado fue a los 120 días después de la siembra y en el observado fue a los 127 días con 4.5 de IAF.

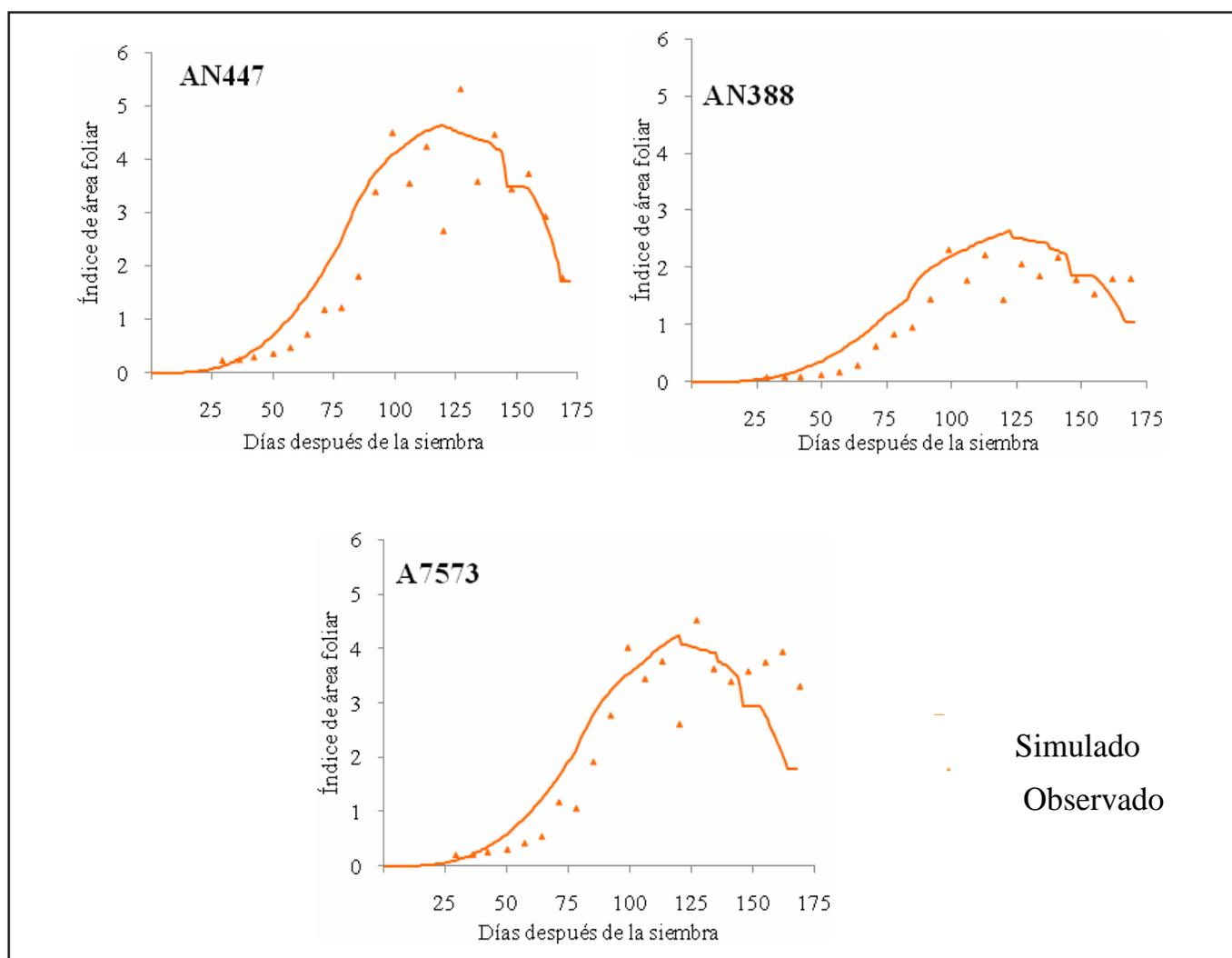
### Conclusiones

Es posible calibrar el programa DSSAT para el cultivo de maíz en la región de estudio a partir de información del ambiente (clima, suelo, manejo) y resultados experimentales del cultivo. La falta de información cuantitativa sobre las características de los cultivares, del clima y del suelo en México, dificultan el proceso de calibración, pero hacen más relevantes nuestros resultados. En nuestro país, se caracteriza un genotipo como temprano o tardío y en el mejor de los casos se indica el número de días que dura su ciclo, sin mencionar una región específica; sin embargo, sería de mayor

utilidad caracterizar un genotipo en base a sus coeficientes genéticos descritos en la sección de materiales y métodos. De esta forma, al conocer la relación de los cultivos y genotipos con el ambiente físico (y su interacción con variables de manejo), sería posible planear las prácticas agrícolas (cultivos, genotipos, fecha de siembra, fertilización etc.) con mayores probabilidades de éxito. La falta de información confiable de clima y suelo es una limitante para la calibración de estos modelos y poder sistematizar la transferencia de agrotecnología. La calibración generalizada de modelos de simulación agrícola, pecuaria y forestal en diferentes regiones del país, diferentes cultivos y diferentes sistemas de producción, permitiría una mayor precisión en la planeación y éxito en las actividades agropecuarias.

### Literatura Citada

Cabelguenne M., J. L. Charpentreau, C. A. Jones, J. R. Marty, J. P. Rellier. 1986. Conduite des systèmes de grande culture et prévision des rendements: tentative de modélisation. pp. 125-132. *In*: II. Etalonnage du modèle: résultats et perspectives. C.R. Acade. Agric. Fr. 72.



**Figura 5.** Índice de área foliar observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, N. L., México.

Jones, J. W. 1993. Decision support system for agricultural development. pp: 459-472. *In: Systems approaches to agricultural development.* Penning de Vriets F. W. T., P. S. y K. Teng Metselaar (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands. 560 p.

Jones, J. W., G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, L. A. Hunt, P. K. Thornton, P. W. Wilkens, D. T. Imamura, W. T. Bowen y U. Singh. 1998. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. pp: 157-176. *In: Tsuji, G. Y., G. Hoogenboom, P. K. Thornton (Eds.). Understanding options for agricultural production.* Kluwer Academic Publishers. London, Great Britain. 325 p.

Mendoza H., J. M. 1983. Diagnostico climático para la zona de influencia inmediata de la UAAAN. Departamento de Agrometeorología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 615 p.

Raiput, R.P. 1980. Response of soybean crop to climate and soil environments. Ph. D. Thesis, IARI, New Delhi, India.

Téllez O., O. S., R. Rodríguez G., D. Jasso C. y E. Peña C. 2000. Validación del Modelo EPIC, para simular la medición de rasgos agronómicos en el cultivo de maíz bajo diferentes condiciones de humedad en el suelo. *Agraria* 16 (1): 27-46, Buenavista, Saltillo, Coah.

Uehara, G. y G. Y. Tsuji. Thornton. 1998. Overview of IBSNAT. pp: 1-7. *In: Tsuji G. Y., G Hoogemboom, Eds.). Understanding Options for Agricultural Production.* Kluwer Academic Publishers. London, Great Britain. 325 p.

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