



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS**

## **“USO DEL MODELO EPIC PARA ESTIMAR RENDIMIENTOS DE MAÍZ: COMPARACIÓN DE LAS VERSIONES MSDOS Y WINDOWS”**

**YOLANDA VELÁZQUEZ JUÁREZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

**2015**

La presente tesis titulada: “**Uso del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz: comparación de las versiones MSDOS y Windows**” fue realizada por la alumna **Yolanda Velázquez Juárez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**HIDROCIENCIAS**

**CONSEJO PARTICULAR**

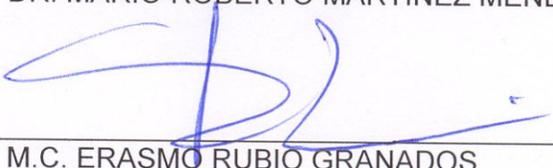
CONSEJERO:

  
\_\_\_\_\_  
DR. DEMETRIO SALVADOR FERNÁNDEZ REYNOSO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. MARIO ROBERTO MARTÍNEZ MENES

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
M.C. ERASMO RUBIO GRANADOS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril de 2015

# USO DEL MODELO EPIC PARA ESTIMAR RENDIMIENTOS DE MAÍZ: COMPARACIÓN DE LAS VERSIONES MSDOS Y WINDOWS

Yolanda Velázquez Juárez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

La estimación de rendimientos de los cultivos agrícolas es necesaria para una adecuada planeación productiva, pero requiere metodologías confiables y eficientes para su estimación. El objetivo de este estudio fue comparar el desempeño del modelo EPIC, en sus versiones MSDOS y Windows, para estimar el rendimiento de maíz en el Estado de México, México y analizar el desempeño, de ambas versiones, para cuantificar el efecto de la profundidad del suelo, la pendiente del terreno y los estreses del cultivo (humedad, temperatura y nutrición) en el rendimiento de grano. Para el análisis se empleó información de rendimientos de cultivo, manejo, datos meteorológicos, propiedades de los suelos y características fisiotécnicas de la planta. Los índices de eficiencia predictiva utilizados, para conocer el desempeño de ambas versiones, fueron el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el porcentaje de sesgo (PBIAS). La versión MSDOS tuvo mejores índices de eficiencia para estimar rendimientos en comparación a WinEPIC, con  $r^2$  de 0.71, NSE de 0.58 y PBIAS de 4.3%. Sin embargo, WinEPIC simuló de mejor manera el efecto del estrés (humedad y temperatura), la profundidad del suelo y la pendiente del terreno, con disminuciones en rendimiento de: 31.9 kg ha<sup>-1</sup> por día de estrés, 1.41 kg ha<sup>-1</sup> por milímetro de reducción en profundidad del suelo y de 155 kg ha<sup>-1</sup> por incremento unitario de la pendiente del terreno, respectivamente. Ambas versiones pueden ser utilizadas para la estimación de los rendimientos, sin embargo, para su uso ha de considerarse el volumen de información y escenarios a procesar.

**Palabras clave.** Modelos de simulación, WinEPIC, rendimiento cultivos, estrés cultivos, comparación modelos.

## Using the EPIC model to assess corn yield: comparison between Windows and MSDOS versions

Yolanda Velázquez Juárez, M. Sc.  
Colegio de Postgraduados, 2015

The estimation of crop yields is required for proper production planning, but it requires reliable and efficient methodologies for this assessing. The aim of this study was to compare two versions of model EPIC, MSDOS and Windows, to estimate corn yield in the State of Mexico, Mexico and to analyze the performance of both versions, to quantify the impact of soil depth, slope of the land and crop stress (moisture, temperature and nutrition) on grain yield. For analysis were used data of crop yield, management, weather, soil properties and plant parameters. The predictive efficiency indices used to decide both versions performance were coefficient of determination ( $r^2$ ), efficiency coefficient of Nash-Sutcliffe (NSE), and percentage of bias (PBIAS). The MSDOS version, compared to WinEPIC, had the best efficiency to estimate corn yield, with an  $r^2$  of 0.71, 0.58 for NSE, and 4.3% for PBIAS. However, WinEPIC simulated in better way the effect of stress (humidity and temperature), soil depth, and slope, with decreases in crop yield: 31.9 kg ha<sup>-1</sup> per day of stress, 1.41 kg ha<sup>-1</sup> for millimeter on soil depth and 155 kg ha<sup>-1</sup> per unitary increase on slope, respectively. Both versions could be used to estimate crop yield; however, their use will depend mainly on the volume of data and scenarios to process.

**Index words.** Simulation models, WinEPIC, crop yield, crop stress, models comparison.

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por haberme apoyado económicamente para realizar mis estudios de postgrado.

Al **Colegio de Postgraduados y Posgrado en Hidrociencias**, por la oportunidad de continuar mi preparación académica, por las facilidades otorgadas durante mi estancia y por darme la oportunidad de concluir una de mis metas planteadas.

Al **Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso** por aceptar dirigir esta tesis, por todo el apoyo otorgado antes, durante y en la redacción de la misma, así como sus atinados comentarios y aportes al trabajo realizado. Así mismo agradecer su tiempo, paciencia, ánimo y comprensión durante el desarrollo del trabajo, pese a circunstancias desfavorables.

Al **Dr. Mario R. Martínez Menes** por la revisión de la tesis y sus comentarios tan asertivos, para una mejora sustantiva de la misma, de igual forma por haber compartido parte de sus conocimientos a través de las clases.

Al **Dr. José Luis Oropeza Mota**, por sus consejos y su apoyo al iniciar esta etapa en mi formación profesional, que a pesar de su partida, llevare en mi memoria sus enseñanzas y consejos que me servirán a lo largo de mi vida.

Al **M.C. Erasmo Rubio Granados**, por su apoyo invaluable en la fase de campo de este trabajo, por sus aportes y comentarios para una mejor comprensión de los procesos y del tiempo invertido en la revisión de esta tesis.

A la **M.C. Ma. Eugenia Delgadillo Piñón**, por haber aceptado ser sinodal en la defensa de esta tesis, así mismo por sus sugerencias y consejos para una mejora en la presentación de esta.

A todos los profesores (as) por brindarme sus conocimientos y apoyo durante la maestría, y a aquellos que me orientaron en mi desarrollo personal y profesional.

Al personal administrativo y de apoyo del posgrado de Hidrociencias, por su orientación en algunos trámites, en especial al Sr. Juan Ávila y las secretarias Ma. Salustia Chávez Espinosa y María Elena Álvarez Barragán, por una amistad sincera y consejos tanto a nivel personal como académicos.

A los productores de maíz en el municipio de Acambay que amablemente aceptaron contestar las encuestas, que fueron parte complementaria en este trabajo.

A mis amigos (as) que me han brindado su apoyo y consejos a lo largo de mi estancia en esta institución y fuera de ella, y a quienes han contribuido directa o indirectamente en culminar esta etapa.

Al equipo de futbol femenino de Ganadería, por darme la oportunidad de haber formado parte de él y practicar este lindo deporte, así mismo por la amistad que encontré en cada una de sus integrantes, con las que compartí buenos y malos momentos, sin duda, hizo que mi paso por esta institución fuera distinta.

## DEDICATORIA

A Dios por darme una nueva oportunidad de vivir y poder culminar esta etapa en mi vida.

A mis padres Maura Fabiola Juárez Machorro e Irineo Teodomiro Velázquez Vélez, por darme la vida, por su amor, confianza, consejos, comprensión, esfuerzo, sacrificios y apoyo incondicional en las diferentes etapas de mi vida, de igual forma por motivarme a seguir adelante y luchar por mis sueños.

A mis hermanos: Marisol, Lorena, Iván, Juan Carlos y Rosaura, por su compañía, cariño, comprensión y apoyo incondicional, por todos los momentos compartidos y lecciones aprendidas, durante estos años.

A mi abuela Juana Vélez López, que donde quiera que se encuentre, comparto con ella mis logros tanto personales como profesionales, sé que ella estaría orgullosa también.

A mis pequeñas sobrinas Allison y María Estefanía por alegrar mi vida con su presencia y sus travesuras.

A Eliacer por su amor, paciencia, comprensión y consejos durante el tiempo compartido, pero sobre todo por su apoyo que en gran medida fue fundamental para lograr culminar esta etapa.

A mi amiga Susy, por sus sabios consejos y su amistad incondicional, siempre motivándome a seguir adelante y luchar por mis sueños.

A mis amigos que me acompañaron y me apoyaron durante esta etapa especialmente a: Don Rafa, Adán, Haniel, Esteban, Juan Domingo, Rigoberto, Héctor Reyes, Dalila, María Asunción, Carmen, y a todos aquellos que me brindaron su amistad a la distancia.

*“El éxito, es resultado de un esfuerzo constante”*

**Yolanda Velázquez Juárez**

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	3
<b>4. SUPUESTOS</b> .....	3
<b>5. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
5.1. Situación del cultivo de maíz.....	4
5.2. Producción nacional de maíz.....	5
5.3. Producción estatal de maíz .....	6
5.4. Producción de maíz en zona Oriente.....	6
5.5. Producción de maíz en zona Norponiente .....	8
5.6. Generalidades del cultivo .....	9
5.6.1. Origen.....	9
5.6.2. Descripción botánica.....	9
5.6.3. Requerimientos edafoclimáticos .....	11
5.6.4. Plagas, enfermedades y malezas .....	14
5.7. Rendimiento .....	15
5.7.1. Métodos de estimación de rendimientos .....	16
5.8. Definición de Modelo .....	17
5.9. Definición de Simulación .....	17
5.10. Modelos de simulación de cultivos .....	18
5.11. EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator).....	19
5.11.1. Desarrollo del modelo EPIC .....	19
5.11.2. Componentes .....	19
5.11.3. Análisis de sensibilidad del modelo .....	24
5.11.4. Aplicación de EPIC para la estimación de rendimientos en México .....	24
5.12. Versión WinEPIC.....	25
5.13. Componentes de WinEPIC.....	26
5.14. Aplicaciones del modelo .....	27
5.15. Principales cambios en WinEPIC .....	28
5.16. Ajuste de parámetros .....	31

5.17. Limitaciones .....	33
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
6.1. Descripción de la zona de estudio.....	34
6.2. Fisiografía.....	35
6.3. Hidrología .....	35
6.4. Geología.....	35
6.5. Clima.....	35
6.6. Suelos.....	36
6.7. Marco metodológico .....	38
6.8. Recopilación de información.....	39
6.9. Integración de bases de datos .....	47
6.10. Ajuste de parámetros .....	52
6.11. Comparación de versiones del modelo EPIC .....	52
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>57</b>
7.1. Análisis de los sistemas de producción en zona oriente.....	57
7.2. Análisis de los sistemas de producción en zona norponiente .....	59
7.3. Comparación de rendimientos .....	62
7.4. Efecto comparativo del estrés en el rendimiento.....	65
7.5. Efecto comparativo de los nutrientes en el rendimiento.....	66
7.6. Efecto comparativo de la profundidad del suelo en el rendimiento. ....	67
7.7. Efecto comparativo de la pendiente en el rendimiento.....	69
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>9. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>72</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>80</b>

## INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Estadísticas del cultivo de maíz en México para el año 2012.....	5
Cuadro 2. Rendimientos de maíz en el municipio de Acambay, Estado de México; entre 2007 a 2012.....	8
Cuadro 3. Rangos de temperatura (°C) para el desarrollo del maíz.....	11
Cuadro 4. Principales modificaciones, desde 1989, al modelo EPIC.....	25
Cuadro 5. Componentes principales del modelo WinEPIC.....	27
Cuadro 6. Parámetros de WinEPIC para el cultivo de maíz en China.....	32
Cuadro 7. Estaciones meteorológicas con influencia en las parcelas productoras de maíz.....	39
Cuadro 8. Velocidad media mensual del viento ( $m s^{-1}$ ) para las estaciones meteorológicas cercanas a las parcelas estudiadas.....	42
Cuadro 9. Principales tipos de suelos presentes en las parcelas analizadas.....	42
Cuadro 10. Parámetros del suelo determinados en laboratorio.....	44
Cuadro 11. Parámetros fisiológicos para el cultivo de maíz en el Estado de México.....	45
Cuadro 12. Resumen general de manejo del cultivo utilizados.....	46
Cuadro 13. Archivos de clima usados por parcela.....	48
Cuadro 14. Datos de entrada de suelos requeridos en WinEPIC.....	49
Cuadro 15. Parámetros relacionados con el rendimiento usados para cultivo de maíz.....	52
Cuadro 16. Localización de los sitios con diferentes parcelas productoras de maíz analizadas.....	52
Cuadro 17. Datos del cultivo de maíz usados en la simulación.....	53
Cuadro 18. Datos de manejo del cultivo de maíz en parcelas de la zona Oriente.....	57
Cuadro 19. Datos de manejo del cultivo de maíz en las parcelas analizadas.	60

Cuadro 20.	Generadores climáticos de la estación Amecameca de Juárez..	80
Cuadro 21.	Generadores climáticos de la estación Atenco (DGE).....	80
Cuadro 22.	Generadores climáticos de la estación Chalco.....	80
Cuadro 23.	Generadores climáticos de la estación Chapingo.....	80
Cuadro 24.	Generadores climáticos de la estación El Tejocote. ....	81
Cuadro 25.	Generadores climáticos de la estación Juchitepec.....	81
Cuadro 26.	Generadores climáticos de la estación Montecillo, C.P.....	81
Cuadro 27.	Generadores climáticos de la estación Sn. Jerónimo, Tecámac.	81
Cuadro 28.	Generadores climáticos de la estación San Luis Ameca, Tenango del Aire.....	82
Cuadro 29.	Generadores climáticos de la estación San Pedro Nexapa, Amecameca.....	82
Cuadro 30.	Generadores climáticos de la estación Tepexpan, Acolmán.....	82
Cuadro 31.	Generadores climáticos de la estación Tlalmanalco.....	82
Cuadro 32.	Generadores climáticos de la estación Acambay.....	83
Cuadro 33.	Generadores climáticos de la estación Muytejé.....	83
Cuadro 34.	Generadores climáticos de la estación El Tejocote.....	83

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Producción mundial de maíz para el año 2011.....	4
Figura 2. Producción por municipio en el DDR Texcoco, para el año 2012.....	7
Figura 3. Morfología del grano de maíz.....	10
Figura 4. Clasificación de semillas por ciclo vegetativo.....	13
Figura 5. Fenología del cultivo de maíz .....	14
Figura 6. Funciones de producción .....	16
Figura 7. Esquema general de procesamiento de datos en WinEPIC.....	26
Figura 8. Componentes biogeoquímicos del ciclo de carbono y nitrógeno en WinEPIC .....	30
Figura 9. Ubicación de las zonas de estudio, Estado de México, México....	34
Figura 10. Mapa de localización de las zonas de oriente y norponiente, Estado de México, México.....	37
Figura 11. Diagrama de flujo metodológico .....	38
Figura 12. Mapa de localización de estaciones meteorológicas en la zona oriente y norponiente, Estado de México, México.....	40
Figura 13. Modelo geoespacial para obtener datos diarios de las variables mediante el método IDW.....	41
Figura 14. Datos de identificación por parcela en la versión MSDOS.....	47
Figura 15. Interfaz del programa para la edición de archivos de clima (*.dly) en WinEPIC.....	48
Figura 16. Datos de suelo en la versión MSDOS del modelo.....	50
Figura 17. Archivo de suelos en WinEPIC.....	50
Figura 18. Parámetros fisiotécnicos del cultivo en la versión MSDOS.....	50
Figura 19. Interfaz de WinEPIC para el ingreso de parámetros fisiotécnicos del cultivo.....	51
Figura 20. Datos de manejo de maíz desde la interfaz de MSDOS.....	51
Figura 21. Edición de información de manejo por parcela de maíz en WinEPIC.....	51

Figura 22.	Rendimientos observados (RO) en parcelas productoras de maíz en la zona oriente.....	59
Figura 23.	Rendimientos de maíz observados (RO) en la zona norponiente.	61
Figura 24.	Relación entre rendimientos observados (RO) y simulados (RS) de maíz.....	62
Figura 25.	Comportamiento de rendimientos observados y simulados para materiales mejorados.....	64
Figura 26.	Comportamiento de rendimientos observados (RO) y simulados (RS) para materiales criollos.....	64
Figura 27.	Relación entre días de estrés (agua y temperatura) y el rendimiento de grano simulado (RS).....	66
Figura 28.	Efecto de la fertilización en los rendimientos simulados (RS).....	67
Figura 29.	Efecto de la profundidad del suelo en la simulación del rendimiento.....	68
Figura 30.	Relación entre la profundidad del suelo y humedad disponible....	68
Figura 31.	Efecto de la humedad disponible en los RS.....	69
Figura 32.	Efecto de la pendiente sobre el rendimiento.....	70
Figura 33.	Base de datos (*.mdb) para la zona de interés.....	84
Figura 34.	Nomenclatura de identificación para el caso de México.....	85
Figura 35.	Ubicación geográfica del área de interés.....	85
Figura 36.	Clave de identificación a nivel municipal y/o estatal.....	86
Figura 37.	Opción para seleccionar base de datos (*.mdb) desde la ventana de WinEPIC.....	86
Figura 38.	Ventana para la entrada y edición de datos en el modelo.....	86
Figura 39.	Edición de información climática en el modelo WinEPIC.....	87
Figura 40.	Edición de información de viento en WinEPIC.....	87
Figura 41.	Edición de capas de suelos desde WinEPIC.....	88

## 1. INTRODUCCIÓN

El maíz, por su amplia adaptabilidad a diversos climas y suelos y su importancia como alimento y materia prima para diversos usos industriales, es el principal grano cultivado a nivel mundial. México ha dejado de ser autosuficiente en la producción de granos básicos para la alimentación de su población, lo cual representa un alto costo para la economía nacional por las importaciones de este grano. En el periodo de 2005 al 2011, México se ubicó en el noveno lugar en la producción de maíz en el mundo (2.0%) y en segundo lugar en la importación de este grano (11.5%), con un incremento en dicho rubro, del 3.4%. Ante la creciente demanda de este grano surge la necesidad de mejorar la planeación de la producción de maíz, a nivel estatal y nacional, y evaluar de forma confiable la producción del maíz para abastecer los requerimientos de los diferentes sectores y estimar en forma oportuna las importaciones (FAO, 2013; Guzmán *et al.*, 2012; Simelton, 2011).

Las metodologías más confiables para la estimación de rendimientos de los cultivos consideran el comportamiento de variables agronómicas y su interacción con el ambiente; lo cual les hace herramientas útiles en la toma de decisiones y planeación de las actividades agrícolas. Dentro de los métodos de estimación más eficientes se encuentran los modelos de simulación, los cuales evalúan la producción de los cultivos con base en los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos, bajo diferentes sistemas de manejo y distintos niveles o dosis de aplicación de insumos (Balkovic *et al.*, 2013; Hammer *et al.*, 2002; Hansen, 2002; Lobell *et al.*, 2007). Uno de los modelos más utilizados para evaluar, a nivel de parcela, el rendimiento agrícola de gran variedad de cultivos; bajo diferentes prácticas de manejo (riego, fertilización, labranza), tipos de suelo, condiciones climáticas y niveles de erosión; es el modelo EPIC (*Environmental Policy Integrated Climate*), el cual se usará en esta investigación. Este modelo está conformado por submodelos (hidrológico, climático, crecimiento vegetal, erosión, y económico) que realizan la simulación a nivel diario, y hasta por periodos de 100 años, para analizar los efectos acumulados de la degradación de los suelos (Williams *et al.*, 1990).

Los componentes que integran EPIC han evolucionado para facilitar su manipulación y mejorar sus procesos internos; de estas mejoras surge la versión WinEPIC para el sistema operativo Windows®. En México se ha empleado la versión MSDOS de EPIC con resultados satisfactorios, pero dadas las mejoras incluidas en la versión de Windows, en este trabajo se analiza en forma comparativa el desempeño de las versiones MSDOS de EPIC y WinEPIC para estimar el rendimiento de maíz en dos regiones del Estado de México, comparando los rendimientos de maíz observados con los valores simulados, por ambas versiones. Para el análisis comparativo fueron usadas 184 parcelas con datos de rendimientos, manejo, meteorológicos, y propiedades del suelo en dos regiones del Estado de México, México.

## **2. OBJETIVOS**

### **General:**

- Comparar dos versiones del modelo EPIC, identificando ventajas y limitaciones, para la estimación de rendimientos.

### **Específicos:**

- Evaluar el potencial de las versiones MSDOS y Windows del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz.
- Evaluar el potencial de las versiones MSDOS y Windows del modelo EPIC para estimar el efecto de los múltiples estreses en el rendimiento del maíz y el efecto de la profundidad del suelo y la pendiente del terreno en el rendimiento de cultivo.

## **3. HIPÓTESIS**

- Las mejoras incorporadas en WinEPIC mejorarán, respecto a MSDOS, la simulación de los rendimientos de grano.
- WinEPIC, en relación con MSDOS, simula de mejor forma el efecto del estrés, la pendiente y la profundidad del suelo en el rendimiento del cultivo.

## **4. SUPUESTOS**

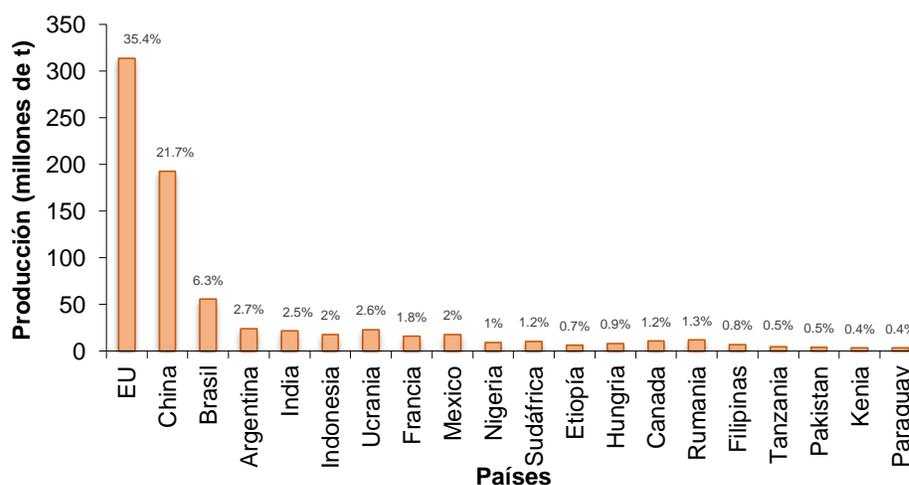
- La información de rendimiento de grano reportado en las bases de datos de PROMAF y en trabajos anteriores es confiable para las dos zonas de interés.
- Los datos de las estaciones meteorológicas son confiables y estadísticamente consistentes.

## 5. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1. Situación del cultivo de maíz

El maíz representa a nivel mundial, uno de los granos básicos para la alimentación humana. Se caracteriza por su gran adaptabilidad a diferentes climas y suelos, así como su consumo en sus diferentes etapas de desarrollo; lo cual favorece la versatilidad en sus usos para el consumo humano, pecuario, industrial y la producción de etanol en el ámbito de los biocombustibles (Financiera Rural, 2013).

La producción mundial de maíz, tuvo un incremento anual del 2.8% en el período de 2005 a 2011, actualmente se ubica como el cereal que más se produce (FAO, 2013). En 2011, a nivel mundial se produjeron 887.9 millones de toneladas, los principales países productores fueron: Estados Unidos con el 35.4%, China (21.7%) y Brasil (6.3%); México se ubicó en el noveno lugar con el 2.0% de la producción de ese año (Figura 1).



**Figura 1.** Producción mundial de maíz para el año 2011.

Con respecto al mercado exterior y la balanza comercial de granos, las exportaciones de los seis principales países en 2011 ascendieron a 85.2 millones de toneladas de maíz, que representa un incremento del 5.4% en comparación con el año 2009. Estados Unidos participó con el 53.8%, Argentina (18.5%), Brasil (11.1%), Ucrania (9.2%) y Francia (7.3%) (FAO, 2013; Guzmán *et al.*, 2012). Cinco países con mayor importación

de maíz en 2011, equivalente a 44.4 millones de toneladas o 5.01% de la producción mundial, en primer lugar fue Japón (34.4%), seguido de México (21.3%), República de Corea (17.5%), Egipto (15.9%) y España (10.9%).

En México los requerimientos de maíz son superiores a su producción, por lo que destaca como el segundo país importador, cuyo propósito es satisfacer la demanda interna de este producto básico (García y Santiago, 2004). En los últimos tres años (2010 a 2012) se registró un incremento del 18.1% en las importaciones, principalmente en maíz amarillo de los Estados Unidos, mientras que en 2012 para maíz blanco el país obtuvo una disminución del 6% (87.8 miles de toneladas) con respecto a las importaciones del 2011 (ASERCA, 2013).

## 5.2. Producción nacional de maíz

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para el año 2012, la superficie sembrada de maíz en México fue de 7'372,218 ha, donde el 82.8% se produce en condiciones de temporal y el 17.2% en condiciones de riego (Cuadro 1). La superficie sembrada bajo riego en ese año se concentró en el estado de Sinaloa con el 28.9% (367,258.6 ha), seguido de los estados de Chihuahua (8.6%), Guanajuato (8.4%) y Michoacán (7.9%). La superficie sembrada de temporal se concentró principalmente en los estados de Chiapas (11.3%), Veracruz (9.33%), Jalisco (9.28%), Oaxaca (9.27%), Puebla (8.6%) y Estado de México (7.7%); que en su conjunto alcanzaron una superficie de 3.38 millones de hectáreas, es decir, el 55% del total (SIAP, 2013).

**Cuadro 1.** Estadísticas del cultivo de maíz en México para el año 2012.

<b>Variable</b>	<b>Temporal</b>	<b>Riego</b>
Superficie Sembrada (ha)	6'103,021	1'269,197
Superficie Cosechada (ha)	5'678,247	1'245,653
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	2.24	7.5
Volumen de la Producción (t)	12'720,477	9'348,778
Precio Medio Rural (\$ t <sup>-1</sup> )	4,021	3,994
Valor de la Producción (miles de \$)	51'150,210	37'339,364

**Fuente:** SIAP, SAGARPA (2013).

La producción de grano en 2012 fue de 22.069 millones de toneladas, el 42.4% se obtuvo en condiciones bajo riego, principalmente en los estados de Sinaloa (38.5%), Chihuahua (11.2%), Guanajuato (9.8%), Michoacán (7.7%) y Tamaulipas (5.3%). La producción en zonas de temporal representó el 57.6% de la producción total, donde destaca Jalisco con el 23%, Chiapas con 10.5%, Veracruz con 9.9% y el 56.6% en el resto de los estados. En 2012, los rendimientos de maíz promedio a nivel nacional, bajo condiciones de riego fueron de 7.50 t ha<sup>-1</sup> y de temporal 2.24 t ha<sup>-1</sup>.

### **5.3. Producción estatal de maíz**

En el año 2012, el Estado de México se ubicó como el cuarto productor de maíz a nivel nacional, con una producción de 1.58 millones de toneladas y una superficie sembrada de 556'325.3 ha. De esta superficie, el 84% corresponde a zonas de temporal con una aportación del 78.2% del volumen estatal producido y el 16% restante a zonas de riego que aportan el 21.8% del volumen de maíz producido.

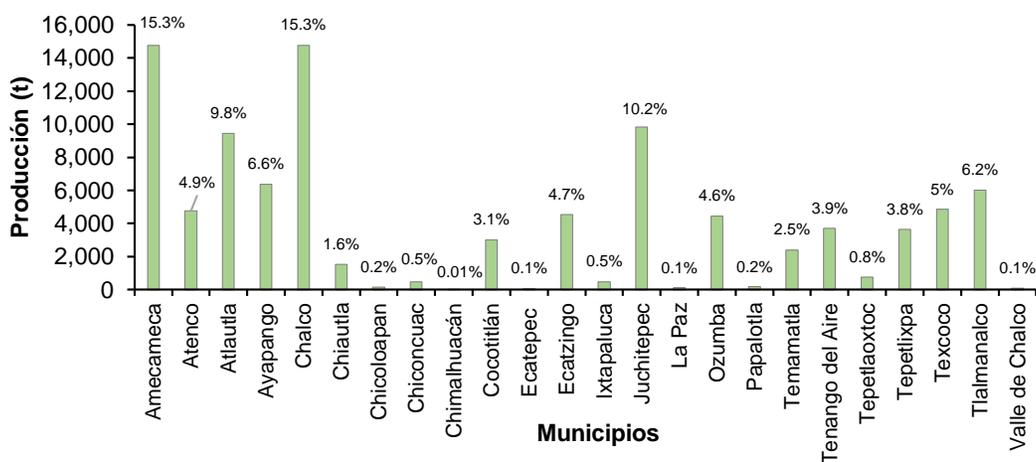
La producción de maíz en la región poniente de la entidad, para el 2012, se ubicó principalmente en los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) Atlacomulco (28.4%), Toluca (24.2%) y Jilotepec (9%); donde prevalecen condiciones favorables para la producción de este grano, es decir, terrenos planos aptos para la mecanización y suelos profundos de buena fertilidad natural. Al sur de la entidad se ubican los DDR de Valle de Bravo (10.1%), Tejupilco (9.6%) y Coatepec Harinas (6.1%), donde la aptitud agrícola es más diversa, a pesar de presentarse una zona de relieve accidentado. En la zona oriente se encuentra el DDR Zumpango (6.3%) y Texcoco (6.1%), ubicados en los valles altos del estado de México, donde se presenta un régimen de lluvias aceptables, pero con riesgo de heladas, granizadas y lluvias torrenciales (González, 2006; Maximiliano *et al.*, 2011).

### **5.4. Producción de maíz en zona Oriente**

El DDR 03 Texcoco, localizado en la zona oriente del Estado de México, abarca el 5.5 % de la superficie sembrada a nivel estatal (Maximiliano *et al.*, 2011). La producción de

maíz en esta zona, para 2012, fue de 92.6 % en condiciones de temporal y de 7.4% bajo riego, con un rendimiento que osciló entre 3.0 y 3.8 t ha<sup>-1</sup>.

La mayor producción de maíz se ubicó en los municipios de Amecameca y Chalco con el 15.3% (14,777.4 y 14,769.2 toneladas respectivamente). Destacan también los municipios de Juchitepec con el 10.2% (9,824 t), Tlamanalco 6.2% (6,021 toneladas) y Texcoco 5% (4,853 toneladas), donde gran parte de la producción se destina a alimentación de ganado lechero (Figura 2).



**Figura 2.** Producción por municipio en el DDR Texcoco, para el año 2012.

El maíz producido en la entidad no es suficiente para abastecer la demanda total existente, la cual es de 3.6 millones de toneladas por año, por lo que se tienen que importar de otros estados de la República Mexicana y de los Estados Unidos de América un 43.9% adicional a la producción estatal. El mayor consumo en la entidad, en más del 50%, es destinado a la alimentación humana, seguido por la industria de la tortilla, industria del almidón de maíz y en último lugar para consumo animal (Hellin *et al.*, 2013).

## 5.5. Producción de maíz en zona Norponiente

El DDR 05 Atlacomulco, abarca una superficie de 161,292 ha que representa el 7.2% del territorio estatal, comprende 10 municipios: Acambay, Atlacomulco, El Oro, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Jocotitlán, Morelos, San Felipe del Progreso, San José del Rincón y Temascalcingo (SAGARPA, 2013). En el año 2012, la producción maicera en el distrito se concentró en los municipios de Ixtlahuaca, San Felipe del Progreso, Jiquipilco y Acambay, con una aportación del 55.1% (246,806.2 toneladas de maíz) de la producción total reportada.

El municipio de Acambay es el cuarto productor de maíz del Estado de México; lo cual obedece a que de la superficie total del municipio, 492.1 km<sup>2</sup> (INEGI, 2010), el maíz ocupa el 46.9% de esta área (230.9 km<sup>2</sup>); correspondiendo al cultivo en temporal, el 87.4% de la superficie sembrada (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Rendimientos de maíz en el municipio de Acambay, Estado de México, entre 2007 y 2012.

Años	Modalidad	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	PMR (\$ t <sup>-1</sup> )	Valor Producción (Miles de \$)
2007	R	3,350.0	3,275.0	12,825.0	3.9	\$ 2,300.0	\$ 29,497.5
	T	16,900.0	16,900.0	58,830.0	3.5	\$ 2,300.0	\$ 135,309.0
2008	R	3,350.0	3,350.0	12,526.7	3.7	\$ 3,000.0	\$ 37,580.2
	T	15,250.0	15,250.0	52,990.0	3.5	\$ 3,000.0	\$ 158,970.0
2009	R	3,400.0	3,400.0	10,200.0	3.0	\$ 2,800.0	\$ 28,560.0
	T	16,950.0	16,950.0	32,205.0	1.9	\$ 2,800.0	\$ 90,174.0
2010	R	3,234.0	3,234.0	9,715.0	3.0	\$ 3,300.0	\$ 32,059.5
	T	16,932.0	16,932.0	36,403.8	2.2	\$ 3,000.0	\$ 109,211.4
2011	R	3,280.0	3,275.0	5,895.0	1.8	\$ 4,603.0	\$ 27,135.0
	T	13,200.0	6,873.0	3,649.6	0.5	\$ 4,595.0	\$ 16,769.7
2012	R	3,412.0	3,412.0	19,755.5	5.8	\$ 3,000.0	\$ 59,266.4
	T	14,500.0	14,404.4	30,249.2	2.1	\$ 3,815.9	\$ 115,427.5

R= riego, T= Temporal, PMR= precio medio rural.

**Fuente:** SIAP, 2013.

Los rendimientos en el municipio varían de 1.7 t ha<sup>-1</sup>, para condiciones de temporal, a 5.8 t ha<sup>-1</sup>, bajo riego. Sin embargo, en 2011, según datos reportados por Agroasemex (SEDAGRO, 2011), se presentaron menores rendimientos por una sequía que mermó la producción, afectando a 15,265 ha.

## **5.6. Generalidades del cultivo**

### **5.6.1. Origen**

El origen del maíz comprende la región de Mesoamérica, localizada entre el centro y sur de México y América Central. Se cree que su domesticación fue aproximadamente hace 8,000 años. Su evolución es producto de la interacción de los procesos biológicos, factores ecológicos con la dinámica cultural y los intereses del hombre (CONABIO, 2008).

### **5.6.2. Descripción botánica**

El maíz, es una planta herbácea anual que pertenece a la familia de las Gramíneas o *Poaceae*, y a la especie *Zea mays L.* Es un cereal de porte alto, con vainas foliares que se superponen y hojas anchas alternas, área foliar considerable, tallo fuerte, tejido vascular (conductor) amplio y eficiente; características morfométricas que lo hacen muy eficaz en la producción de grano. Las raíces del maíz son fasciculadas y robustas, que brindan alimento y anclaje a la planta, que se refuerza con la presencia de raíces adventicias (Bedoya y Chávez, 2010; Llanos, 1984).

Es una planta monoica, es decir, posee ambos sexos pero en órganos diferentes. La estructura masculina es la espiga o panícula donde se produce el polen y la femenina son los estigmas en el jilote. Es una planta de polinización libre en la que cada semilla (punto de vista agronómico) en la mazorca es un fruto independiente llamado comercialmente grano y botánicamente carióspside. Los granos de polen se diseminan por el aire hasta caer en los estigmas que quedan polinizados para formar nuevas semillas por fecundación cruzada o halógama (Castañeda, 1990; De León, 2008).

El maíz tiene una alta eficiencia de conversión de energía, dado que posee un metabolismo de fijación de carbono del tipo  $C_4$ , que le confiere un potencial fotosintético mayor que las especies  $C_3$ , pero requiere de 370 gramos de agua transpirada por gramo de biomasa producida (Palacios, 2010).

La mazorca puede formar alrededor de 400 a 1,000 granos, arreglados en 8 a 24 hileras, con un peso de 190 y 300 gramos. El número total de granos, está determinado por el número de hileras y de granos por cada una de ellas, mientras que el peso de grano dependerá de las variaciones genéticas, ambientales y del cultivo (Kato *et al.*, 2009). El grano constituye aproximadamente el 30 % del peso seco de la planta (índice de cosecha) y está constituido por las cuatro estructuras principales (Figura 3):



**Figura 3.** Morfología del grano de maíz (Benítez, 2006).

1. **Pericarpio:** Protege la semilla antes y después de la siembra, se caracteriza por su elevado contenido de fibra cruda (87%), cenizas, proteínas y azúcares.
2. **Endospermo:** Provee los nutrientes para el germinado de la semilla, hasta que la planta empiece a sintetizar por sí misma, está formado por un 90% de almidón, 7% proteínas y cantidades menores de aceites minerales (3%).
3. **Germen o embrión:** Estructura a partir de la cual se desarrolla una nueva planta, caracterizada por su elevado contenido de grasas (35 a 40%), proteínas y minerales.
4. **Piloriza:** Estructura cónica de tejido inerte que une el grano y el carozo (conocido comúnmente como olote); está compuesta por celulosa y hemicelulosa, entre otros carbohidratos complejos.

El color del maíz depende de compuestos como carotenos y xantófilas, que se almacenan en diferentes partes del grano, por lo que podemos encontrarlo en colores blanco o amarillo, de igual manera variedades de color negro, rojo y jaspeado (Benítez, 2006, Miramontes, *et al.*, 2008; Reyes, 1990).

### 5.6.3. Requerimientos edafoclimáticos

Los principales factores del clima que influyen en el crecimiento son: radiación solar, concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura, período libre de heladas, viento, granizo y precipitación.

**Altitud:** El maíz se siembra en una gran variedad de regiones agroecológicas que van de altitudes de 0 m hasta cerca de los 4,000 msnm.

**Temperatura y precipitación:** Las mejores producciones se logran en climas donde las temperaturas medias en los meses calurosos varían entre 21 y 27°C (Cuadro 3). El maíz requiere de precipitación mayor de 800 mm, distribuidos en el ciclo fenológico.

**Cuadro 3.** Rangos de temperatura (°C) para el desarrollo del maíz.

Etapa	Mínima	Óptima	Máxima
Germinación	10	20 - 25	40
Crecimiento	10	20 - 30	40
Floración	20	21 - 30	30

**Fuente:** CYCASA, 2009.

Algunos problemas asociados a las temperaturas, se presentan por debajo de 10°C, donde se detiene la germinación y los procesos fisiológicos, sin embargo, a temperaturas mayores a 33°C, se pone en riesgo la polinización. Para reducir el estrés por efecto de las bajas temperaturas, se debe verificar que durante el ciclo agrícola haya por lo menos de 120 a 180 días libres de heladas y que la primera sea por lo menos 30 días antes de la cosecha (Ortega, 2003).

**Riego:** El maíz es un cultivo con alta demanda de agua y sus requerimientos hídricos varían de acuerdo con el ciclo de desarrollo de la planta; su uso consuntivo varía entre 410 y 640 mm. El rendimiento del cultivo es muy sensible al estrés hídrico, un período de sequía afectará sensiblemente el rendimiento si este ocurre cerca de la floración, ya

que inhibe el desarrollo floral, la polinización, el llenado del grano y la producción de granos en la planta (Cakir, 2004; Reyes, 1990).

**Suelos:** Los suelos idóneos para el cultivo son los de texturas medias, de franco a franco-limoso, en el horizonte superficial y con mayor contenido de arcilla en el subsuelo (profundidad > 60 cm), bien drenados, aireados, buena estructura, con elevada capacidad de retención para el agua y salinidad inferior a 7 dS m<sup>-1</sup> (CYCASA, 2009).

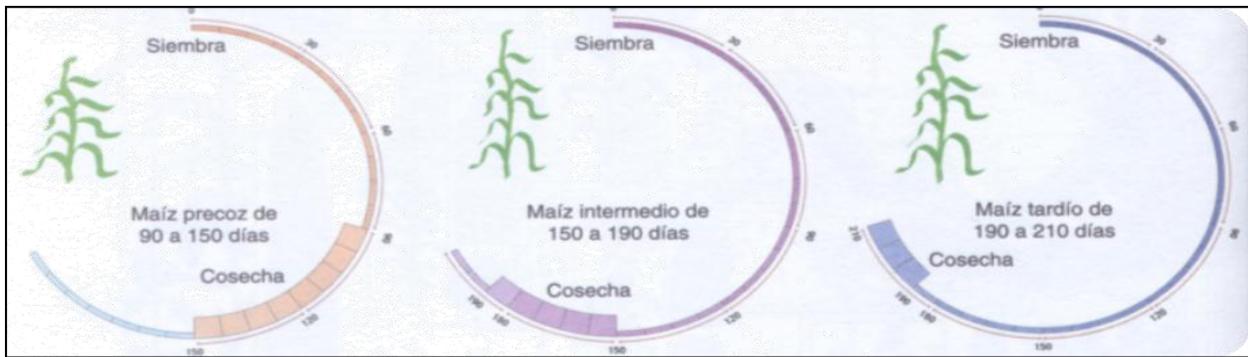
**pH:** Los valores ideales de pH están comprendidos entre 5 y 8; valores inferiores a 5 pueden provocar problemas de toxicidad de aluminio, manganeso y hierro. Los suelos con pH entre 7.5 y 8.4 suelen tener deficiencias en fósforo, debido a que se encuentra en forma de fosfatos tricálcicos de baja solubilidad, al igual que el zinc y el hierro que también tienen poca solubilidad (Saini y Westgate, 2000).

La forma de siembra y la cantidad de semilla utilizada por hectárea, resulta de una conjugación de factores tales como la variedad, periodo de crecimiento, humedad disponible y fertilidad del suelo (Deras, 2008).

**Ciclo del cultivo:** La duración del ciclo de maíz va 100 a 190 días, sin embargo, puede reducirse o alargarse en función de las unidades calor (UC)<sup>1</sup> acumuladas y el tipo de semilla empleada (Figura 4); en el caso del maíz las UC son aproximadamente 1,424°C (Ruiz *et al.*, 2002).

---

<sup>1</sup> Integración de la curva de temperatura ambiental entre la temperatura máxima y mínima de crecimiento, las cuales definen el rango de temperatura donde el cultivo se desarrolla adecuadamente, fuera de ese rango, el cultivo detiene su crecimiento o muere. Permiten estimar la duración de cada estado fenológico de un cultivo y estimar su fecha aproximada de madurez fisiológica (INIFAP, 2013).



**Figura 4.** Clasificación de semillas por ciclo vegetativo, tomado de CYCASA, 2009.

El maíz tiene dos etapas de crecimiento que se agrupan en las siguientes categorías: vegetativa (V) y reproductiva (R), estas comprende cuatro períodos (Figura 5):

- Crecimiento de las plántulas: El coleóptilo emerge de la superficie del suelo (VE), es visible la primera hoja (V1).
- Crecimiento vegetativo: Se observa la segunda hoja (V2), es visible el cuello de la hoja número “n” (V<sub>n</sub>), donde n es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta, fluctúa entre 16 y 22, sin embargo, en la floración se habrán perdido de 4 a 5 hojas inferiores.
- Floración y fecundación: Se hace visible la última rama de la panícula o espiga (VT), comienza la floración masculina o anthesis (R0), se arroja el polen y se observan los estigmas (R1).
- Llenado de grano y madurez: En la *etapa de ampolla*, los granos están formados por un líquido claro y se puede ver el embrión (R2). En la *etapa lechosa* los granos se llenan con un líquido lechoso blanco (R3). En la *etapa masosa*, los granos se llenan con una pasta blanca y el embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano (R4). La *etapa dentada*, es aquella donde la parte superior de los granos se llena con almidón sólido y los granos adquieren la forma dentada; en esta etapa es notoria una “línea de leche”, cuando se observa el grano desde el costado (R5). La

madurez fisiológica corresponde a la aparición de una capa negra en la base del grano; generalmente la humedad es del 35% y para fines comerciales del 14%.

A partir de la última etapa, la planta iniciará una pérdida “natural” de humedad del grano, cuya duración varía en función de las condiciones climáticas y la cantidad de sustancia seca acumulada, por lo que la producción no sufre variación (Bartolini, 1990; CIMMYT, 2013).

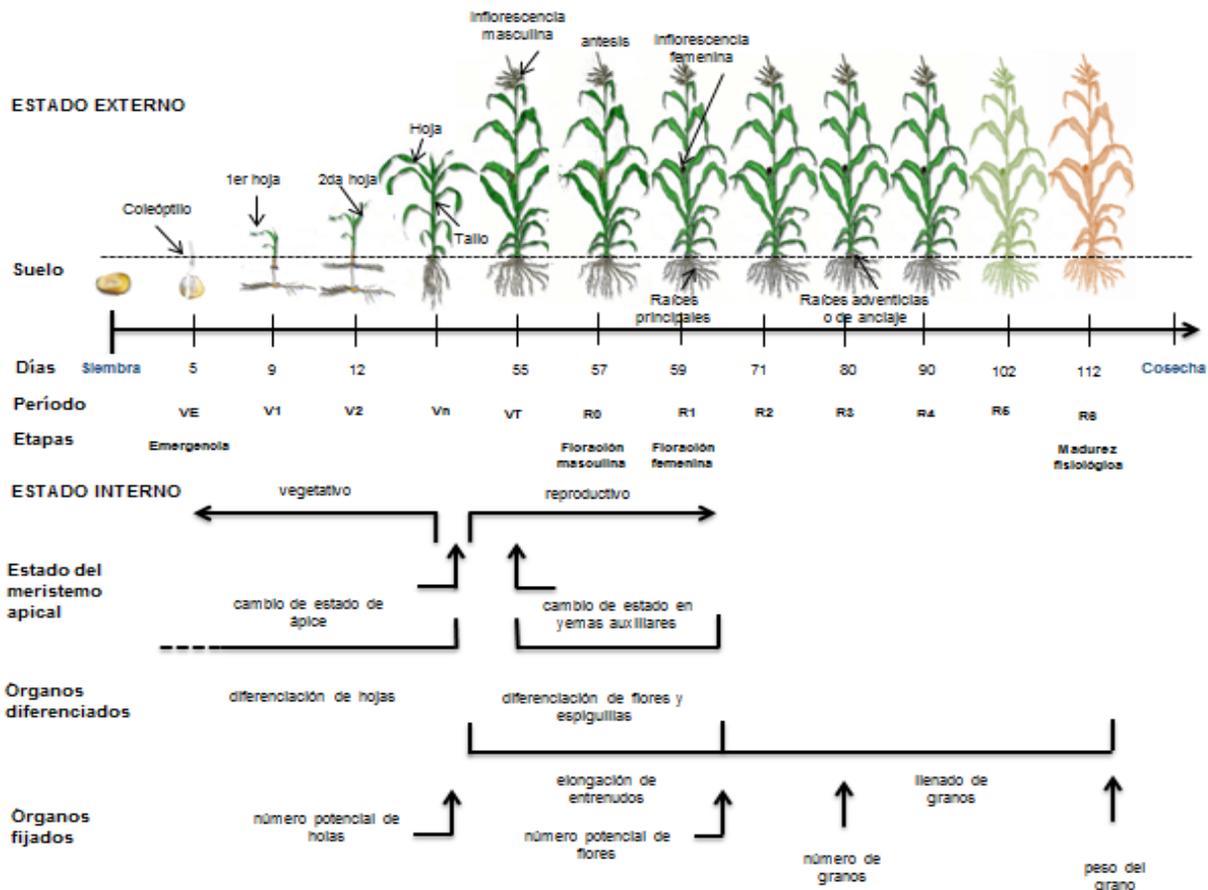


Figura 5. Fenología del cultivo de maíz (Adaptado de CIMMYT, 2013; Echeverría y Sainz, 2007).

#### 5.6.4. Plagas, enfermedades y malezas

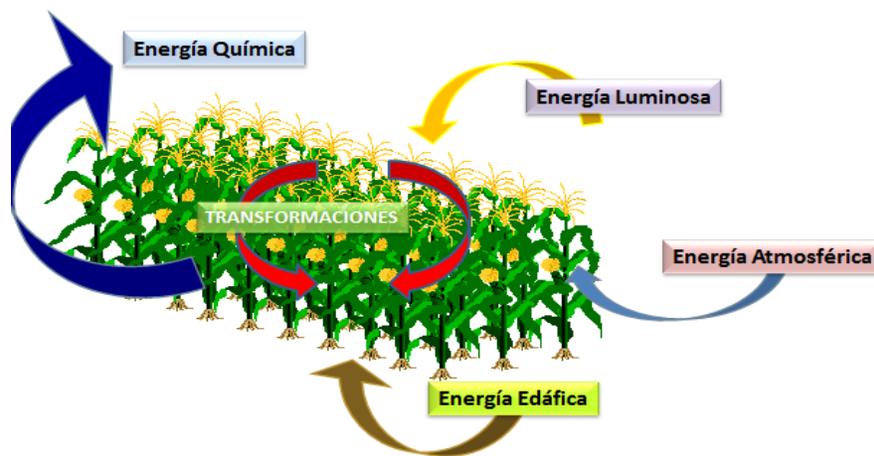
Se estima que los insectos nocivos del maíz provocan pérdidas promedio del 30% en México, mientras que las enfermedades causan del 10 a 12% de pérdidas en la producción, aunque en ciertas condiciones los daños son tan severos que las pérdidas pueden ser totales (Del Bosque y Marín, 2008).

Las principales plagas en el cultivo de maíz son: gusano de la semilla (*Hylemia spp.*), escarabajo de la semilla (*Stenelophus spp.*), gusano de alambre (*Glyphonyx spp.*), gusanos trozadores (*Agrotis spp.*), trips (*Frankliniella spp.*), chicharrita (*Albures spp.*), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), pulgón del cogollo (*Rhopalosiphum maidis*), araña roja (*Olygonychus spp.*), gallinas ciegas (*Phyllophaga spp.*), frailecillo (*Macroductylus mexicanus*), gusano elotero (*Helicoverpa zea*), gusano barrenador del tallo (*Diatraea spp.*) chapulines (*Melanoplus spp.*) y gusano alfilerillo (*Diabrotica virgifera*).

Las enfermedades más importantes son: en el follaje (tizones, roya común, peca, complejo de la mancha de asfalto, rayado fino); raíz (pudriciones); espiga (carbón de la espiga); tallo (pudrición de carbón), y en mazorca destaca la pudrición de la misma y el huitlacoche. En el caso de las malezas sobresale el chayotillo, correhuela, coquillo y zacate Johnson (CESAVEG, 2010).

### **5.7. Rendimiento**

Se define como la relación de la producción total de un cultivo cosechado por unidad de superficie ( $t\ ha^{-1}$ ). El rendimiento puede variar en función de las condiciones dominantes y las relaciones genotipo-ambiente-suelo-manejo; es decir, factores genéticos de la planta y condiciones prevalecientes durante el crecimiento: clima, fertilidad del suelo, control de plagas y enfermedades, estrés hídrico, densidad de siembra (Figura 6); (Infante *et al.*, 2003). Estos componentes del rendimiento son parámetros cuantitativos de la morfología de la planta, los cuales al ser combinados tienen un valor igual al rendimiento (Medina *et al.*, 2010).



$$\text{Rendimiento} = f \left( \begin{array}{l} \text{Preparación del suelo, semilla, densidad de siembra,} \\ \text{manejo, potencial productivo} \end{array} \right)$$

**Figura 6.** Funciones de producción, tomado de CYCASA (2009).

### 5.7.1. Métodos de estimación de rendimientos

Para la estimación de rendimiento en los cultivos, existen diferentes metodologías asociadas con variables agronómicas (densidad de plantas, el vigor, la incidencia de plagas, enfermedades y/o malezas, entre otras) en interacción con variables ambientales. A medida que se mejora la comprensión de estas relaciones e interacciones, se aumenta el grado de confiabilidad de las estimaciones y con ello se dispone de mejores herramientas para la toma de decisiones en el manejo de la agricultura (Lobell *et al.*, 2007; Soria *et al.*, 2004).

El rendimiento esperado, de acuerdo a distintas condiciones de crecimiento, se puede estimar por medio de modelos mecanísticos de crecimiento de cultivos. Sin embargo, la estimación precisa del rendimiento depende de la disponibilidad y calidad de los datos sobre el estado real del cultivo (Boote *et al.*, 1998; Brisson *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2004).

Las técnicas de estimación del rendimiento tomaron nuevos horizontes con el desarrollo de la tecnología computacional y satelital. Esto ha dado lugar a una nueva gama de posibilidades que comprende, además de los medios originales, los modelos

matemáticos de simulación de cultivos y los procedimientos que emplean información exclusivamente satelital. Las técnicas satelitales que proporcionan información radiométrica sobre coberturas, permiten correlacionar el rendimiento con las firmas espectrales o índices de vegetación de diferentes etapas de crecimiento del cultivo. También existen procedimientos que integran ambas fuentes de datos (De la Casa y Ovando, 2007; Doraiswamy *et al.*, 2003; Weiss *et al.*, 2001).

### **5.8. Definición de Modelo**

Un modelo se define como la representación conceptual de un proceso o un sistema complejo que representa el comportamiento dinámico, mediante la inclusión de los cambios, interrelaciones de causa-efecto y la retroalimentación de información de las interacciones directas en el sistema a través del tiempo (Wei *et al.*, 2012). El modelo debe ser desarrollado para un propósito o aplicación específica y la validez de sus resultados estará determinada con respecto a ese propósito y al rango de condiciones experimentales que fue programado. En otras palabras, el que un modelo sea suficientemente preciso, para numerosas condiciones experimentales, no garantiza que sea válido en todas sus aplicaciones posibles (Sargent *et al.*, 2007).

### **5.9. Definición de Simulación**

De acuerdo con Robinson (2004), la simulación contempla cuatro aspectos, operación de sistemas, propósito, simplificación y experimentación, por tanto se define como: experimentación con una imitación simplificada (en una computadora) de un sistema de operaciones progresivas, a través del tiempo, con el propósito de entender el sistema natural y mejorar el sistema computacional.

**Calibración:** Proceso de ajuste de los parámetros más sensibles del modelo, para maximizar su desempeño con respecto a un conjunto de datos experimentales (Trucano *et al.*, 2006).

**Validación:** En esta etapa se verifica la exactitud de las predicciones del modelo y se compara con datos observados de manera independiente (Wang *et al.*, 2012).

Recientemente, se ha renovado el interés y la necesidad de mejorar la comprensión y la comunicación de incertidumbres, relacionadas con el crecimiento y predicción del rendimiento de los cultivos. La incorporación de este conocimiento, en procesos clave y fórmulas matemáticas ha aumentado la precisión de los resultados de simulación de rendimientos (Borgesén y Olesen, 2011; Brouwer y Van Ittersum, 2010; Yang *et al.*, 2004).

### **5.10. Modelos de simulación de cultivos**

Los modelos son representaciones matemáticas de los procesos de crecimiento de las plantas y de la interacción entre genotipo, ambiente y manejo. Los modelos se han convertido en una herramienta de gran valía en apoyo a la investigación científica, manejo de los cultivos y el análisis de políticas (Fischer *et al.*, 2000; Hammer *et al.*, 2002; Hansen, 2002). También son de gran ayuda para asesores técnicos en la propuesta de nuevos sistemas de manejo de cultivos y en la evaluación de riesgos asociados con estas estrategias (De Carvalho y Steidle, 2011).

Los modelos de simulación sirven para diferentes propósitos y su finalidad es para describir mecanismos y procesos clave, sensibilidad ambiental y de manejo, requerimientos de datos y resultados deseados. Algunos modelos fueron desarrollados bajo la premisa de condiciones homogéneas y pueden ser aplicables a nivel de parcela, regional, nacional continental o global (Balkovic *et al.*, 2013).

Todos los modelos de cultivos deben simular el crecimiento y el desarrollo vegetal, la distribución de la biomasa entre los órganos (hojas, tallos, raíces y estructuras reproductivas), así como prácticas de manejo (densidad de plantas, datos relacionados con siembra, riego, labranza, cosecha) y rendimiento de cultivo (Casman *et al.*, 2003).

## **5.11. EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator)**

El modelo EPIC fue desarrollado por Williams (1984), con la finalidad de contar con una herramienta para determinar la relación entre las pérdidas de suelo y la productividad de los cultivos. El modelo trabaja a escala diaria y ha resultado una herramienta útil para planificar el uso de la tierra y el manejo de cuencas.

El modelo ha sufrido muchas transformaciones desde su versión inicial y en la actualidad incluye aspectos de calidad de agua, riego y drenaje. También ha mejorado sus procedimientos para evaluar la pérdida de suelo, mediante el uso de fórmulas más precisas que la USLE y RUSLE.

### **5.11.1. Desarrollo del modelo EPIC**

El modelo EPIC considera procesos simultáneos y realísticos que simulan los rendimientos de una gran variedad de cultivos y pastos, en rotación o individuales, a nivel diario o hasta por 100 años.

### **5.11.2. Componentes**

El modelo combina aspectos biofísicos, económicos y ambientales asociados a la producción agrícola a nivel de parcela, que permiten simular de manera simultánea rotaciones de cultivo, sistemas de manejo, tipos de suelo, condiciones de clima, niveles de fertilización y ciclo de nutrientes (carbono y NPK) (Farina *et al.*, 2011). El modelo EPIC está formado por submodelos, que incluyen los siguientes aspectos:

- **Hidrología**

El submodelo hidrológico simula el volumen de escurrimiento superficial y el gasto pico del escurrimiento dada una cantidad de lluvia diaria. El escurrimiento superficial se predice a nivel diario, aplicando la ecuación de Curvas Numéricas del *Soil Conservation Service* (SCS) y el escurrimiento máximo o gasto pico se basa en la ecuación racional modificada.

- **Clima**

El submodelo climático simula estocásticamente si ocurre o no la lluvia, a partir de un modelo basado en las cadenas de Markov de primer grado, el cual emplea probabilidades mensuales de ocurrencia de precipitación en un día dado; considerando el estado húmedo o seco del día anterior. Si el día anterior fue húmedo, la cantidad se determina mediante la distribución normal asimétrica de la precipitación.

Las variables climáticas requeridas por el modelo son: temperatura máxima y mínima, precipitación, radiación solar media mensual. Para estimar la evaporación potencial, según el método empleado, se podrán requerir datos de velocidad de viento y humedad relativa.

- **Crecimiento de cultivo**

Este submodelo puede aplicarse a diversos cultivos como el maíz, sorgo, trigo, avena, cebada, soya, alfalfa y algodón, incluso para simular el desarrollo de cultivos anuales y perennes. Se requieren parámetros específicos de cada cultivo y tiene la capacidad de simular el comportamiento de los rendimientos en respuesta a la variabilidad en los factores ambientales.

El modelo simula la producción potencial de materia seca diaria, a partir de tres aspectos principales:

- a) Fenología del cultivo**

El desarrollo del cultivo se basa en la acumulación de unidades de calor (UC) o grados días de desarrollo. Las UC se calculan a partir de las temperaturas máximas y mínimas del aire mediante la siguiente expresión:

$$HU_K = \left( \frac{T_{mx,k} + T_{mn,k}}{2} \right) - T_{b,j} \quad HU_k \geq 0 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:  $HU$ ,  $T_{mx}$  y  $T_{mn}$  son valores de unidades calor, temperaturas máximas y mínima respectivamente ( $^{\circ}C$ ) para el día  $k$ . No ocurre crecimiento por debajo de la temperatura base ( $T_b$ ) del cultivo  $j$ . El rango del índice de unidades calor, varía de 0 en la plantación a 1 en la madurez fisiológica.

El potencial de unidades calor requerido para la madurez del cultivo  $j$  puede ser un dato de entrada o calculado por el modelo.

### **b) Acumulación de materia seca**

La producción y acumulación de materia seca se realiza simulando la fotosíntesis y respiración, así mismo, usando la eficiencia en el uso de la radiación solar para convertir el bióxido de carbono asimilado en materia seca; bajo condiciones no limitantes de humedad, nutrientes y manejo.

### **c) Desarrollo potencial del cultivo**

Para calcular el rendimiento potencial del cultivo, el modelo emplea la interceptación y la eficiencia de la radiación solar fotosintéticamente activa, la cual se estima con la ecuación de la ley de Beers:

$$PAR_i = 0.5(RA)_i[1 - \exp(-0.65LAI)]_i \quad \text{Ec.2.}$$

Donde:  $PAR$  es la radiación fotosintéticamente activa ( $MJ\ m^{-2}$ ),  $RA$  es la radiación solar ( $MJ\ m^{-2}$ ),  $LAI$  es el índice de área foliar,  $i$  es el día del año.

El  $LAI$  se estima como una función de las unidades calor, el estrés del cultivo y de la etapa de desarrollo del cultivo; desde la emergencia hasta el inicio de la disminución del área foliar. El  $LAI$  se estima con la ecuación 3:

$$LAI_i = LAI_{i-1} + \Delta LAI \quad \text{Ec.3.}$$

Donde:  $LAI$  es el índice de área foliar,  $i$ = día del año,  $\Delta LAI$ = incremento del índice de área foliar.

En la mayoría de los cultivos, el  $LAI$  inicialmente es cero o un valor pequeño. Este se incrementa exponencialmente durante las primeras etapas de desarrollo vegetativo, donde el tamaño de hoja y expansión foliar son una función lineal de la acumulación de unidades calor. El  $LAI$  disminuye después de alcanzar un máximo y toma un valor cercano a cero en la etapa de madurez fisiológica, el  $LAI$  final y la duración foliar se ajusta por estrés (Williams, 1990).

### **Rendimiento del cultivo**

En EPIC, el rendimiento del cultivo es estimado en función del índice de cosecha y la biomasa producida; de acuerdo con la ecuación 4.

$$YLD_j = (HI_j)(B_{AG}) \quad \text{Ec.4.}$$

Donde:  $YLD$  es la cantidad de cosecha recolectada de la parcela ( $t \text{ ha}^{-1}$ ),  $HI$  es el índice de cosecha y  $B_{AG}$  es la biomasa producida ( $t \text{ ha}^{-1}$ ) para el cultivo  $j$ . El índice de cosecha (rendimiento económico/biomasa total), frecuentemente es un valor relativamente estable en un amplio rango de las condiciones ambientales.

- **Nutrientes**

El modelo simula el uso del nitrógeno (N) y fósforo (P), empleando la relación fuente - demanda. La demanda diaria de N y P por el cultivo es la diferencia entre el contenido en el cultivo y contenido ideal para ese día. Mientras que la fijación diaria de N, se estima como una fracción de la absorción diaria de N en las plantas leguminosas, en función del contenido de  $\text{NO}_3$  en el suelo, el contenido de humedad y la etapa de desarrollo de la planta. Las fuentes de nutrientes pueden ser aplicadas como fertilizantes minerales o como estiércol animal; en EPIC se presenta una variedad de fuentes orgánicas e inorgánicas a seleccionar.

El modelo simula el uso de cal para neutralizar el nivel tóxico de aluminio en suelos altamente intemperizados y para mantener un pH deseado en suelos moderadamente intemperizados.

- **Estrés**

EPIC considera los diferentes tipos de estreses (agua, nutrientes, temperatura, aireación y radiación) que inciden en la acumulación de biomasa, desarrollo radicular y rendimiento (disminución del índice de cosecha), cuyo rango va de 0 (el caso más severo) a 1. La producción potencial diaria de materia seca final del cultivo se ajusta en función de los efectos provocados por los diferentes estreses, considerando el factor con el mayor valor de estrés estimado.

El estrés hídrico se basa en la relación fuente-demanda, usando el valor del consumo de agua en una capa determinada y la tasa de evaporación en ese día. El estrés por temperatura considera la temperatura de la superficie del suelo, temperatura base y óptima del cultivo. El estrés por nutrientes, se basa en la acumulación de N y P por la planta y sus valores óptimos en esta. El estrés por aireación se presenta cuando el contenido de agua en el suelo alcanza la saturación y el espacio poroso se reduce.

- **Erosión**

Este proceso es estimado en EPIC con una de las tres ecuaciones: la ecuación modificada de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (MUSLE) Williams (1975), la ecuación modificada de la EUPS por Onstad y Foster (1975) y la fórmula de EUPS de Wischmeier y Smith (1978).

- **Labranza**

El submodelo de labranza en EPIC simula altura de surco, rugosidad superficial, cambios en la densidad aparente, mezcla de las capas del suelo y la incorporación de residuos y nutrientes.

- **Económico.**

En este componente se analizan los costos del manejo de cultivo para calcular los costos de producción. El ingreso se determina, a partir de los rendimientos simulados con el modelo y el precio estimado de venta del producto. Los beneficios netos (ingresos – costos) pueden cambiar cuando el suelo se erosiona.

### **5.11.3. Análisis de sensibilidad del modelo**

EPIC presenta una alta sensibilidad a cambios en los parámetros fisiotécnicos del cultivo, en las propiedades del suelo por factores climáticos, de manejo, así como la aplicación de agua y nutrientes (Williams *et al.*, 2008). Licona *et al.* (2006) calibraron y validaron el EPIC para estimar la producción de maíz, bajo condiciones de riego y temporal en el oriente del Estado de México; consideraron variables fisiotécnicas, como: relación biomasa-energía (WA), índice de área foliar potencial (DMLA) e índice de cosecha (IC), información climática, características físico-químicas de los suelos y características de manejo de 56 parcelas cultivadas. Los resultados obtenidos por el modelo mostraron que la suma de cuadrados del error (SEE) fue de 0.05 en riego y 0.22 en secano en la etapa de validación del modelo.

### **5.11.4. Aplicación de EPIC para la estimación de rendimientos en México**

En México, la mayoría de las aplicaciones del modelo han sido en su versión para MSDOS. Villar *et al.* (1999) emplearon el modelo EPIC para evaluar la relación erosión/productividad, en la región de La Frailesca del Estado de Chiapas, bajo diferentes tipos de labranza. El modelo indicó que el sistema de labranza tradicional puede dejar de producir en 90 años, mientras que el sistema de labranza cero mantuvo su productividad durante 100 años de simulación. Tiscareño *et al.* (2003) usaron el modelo EPIC para simular los rendimientos de maíz, frijol y trigo, bajo el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en el territorio mexicano e identificaron las regiones susceptibles al evento por cambios en su temperatura y precipitación. Sin embargo, en estos estudios no se consideraron las variables fisiotécnicas del cultivo requeridas por el modelo.

Por otro lado, Fernández (2008) utilizó el modelo EPIC para estimar los rendimientos de maíz, en parcelas distribuidas en el distrito de Texcoco en diferentes años. La comparación entre los rendimientos observados y simulados tuvo un  $r^2$  de 0.90 y 0.88 para calibración y validación, respectivamente.

El modelo EPIC ha evolucionado de acuerdo a las diferentes versiones que se han liberado, las cuales se han centrado en mejorar los diferentes componentes que lo integran a fin de facilitar a los usuarios su alimentación y satisfacer la necesidad de aplicaciones específicas (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Principales modificaciones, desde 1989, al modelo EPIC (Gassman *et al.*, 2005).

<b>Componente modificado o datos de entrada</b>	<b>Fuente</b>
Se mejora y expande el modelo de crecimiento del cultivo.	Williams <i>et al.</i> , 1989
Se mejora la función de crecimiento de la raíz.	Jones <i>et al.</i> , 1991
Se mejora la rutina de fijación de nitrógeno para leguminosas en función de la fijación de agua del suelo, el N del suelo y el estado fisiológico de los cultivos.	Bouniols <i>et al.</i> , 1991
Se incorpora la rutina para uso de plaguicidas del modelo GLEAMS.	Sabbagh <i>et al.</i> , 1991
Se mejoran los parámetros de crecimiento vegetal del girasol.	Kiniry <i>et al.</i> , 1992a
Se incorporan los efectos de la presión de vapor y CO <sub>2</sub> en la eficiencia en uso de la radiación, resistencia estomática de las hojas y transpiración de los cultivos.	Stockle <i>et al.</i> , 1992a
Se incorporan funciones para simular dos o más cultivos de manera simultánea.	Kiniry <i>et al.</i> , 1992b
Se mejora el componente de temperatura del suelo.	Potter and Williams (1994)
Se mejoran los parámetros de crecimiento vegetal para cereales, oleaginosas y forrajes cultivados.	Kiniry <i>et al.</i> , 1995
Se mejora el generador climático.	Williams (1995)
Se incorpora el componente de tasa de escurrimiento máximo del TR-55.	Williams (1995)
Se incorporan las rutinas para el cálculo de la erosión hídrica de MUSS, MUST y MUSI.	Williams (1995)
Se incorporan el componente de volatilización y nitrificación.	Williams (1995)
Se incorpora la rutina de movimiento del agua.	Williams (1995)
Se incorpora la ecuación para erosión hídrica de RUSLE.	Renard (1997)
Se incorpora el componente de erosión y escurrimiento por deshielo.	Purveen <i>et al.</i> , 1997
Se incorporan las rutinas del modelo WESS para el cálculo de erosión eólica.	Potter <i>et al.</i> , 1998
Se incorpora la rutina de Baier-Robertson para el cálculo de ETP.	Roloff <i>et al.</i> , 1998
Se incorpora la función de infiltración de Green y Ampt.	Williams <i>et al.</i> , 2000
Se incorpora la rutina para el ciclo del potasio (K)	De Barros, <i>et al.</i> , 2004
Se mejora en la rutina para el ciclo del carbono, a partir del modelo Century	Izaurralde <i>et al.</i> , 2006

## 5.12. Versión WinEPIC

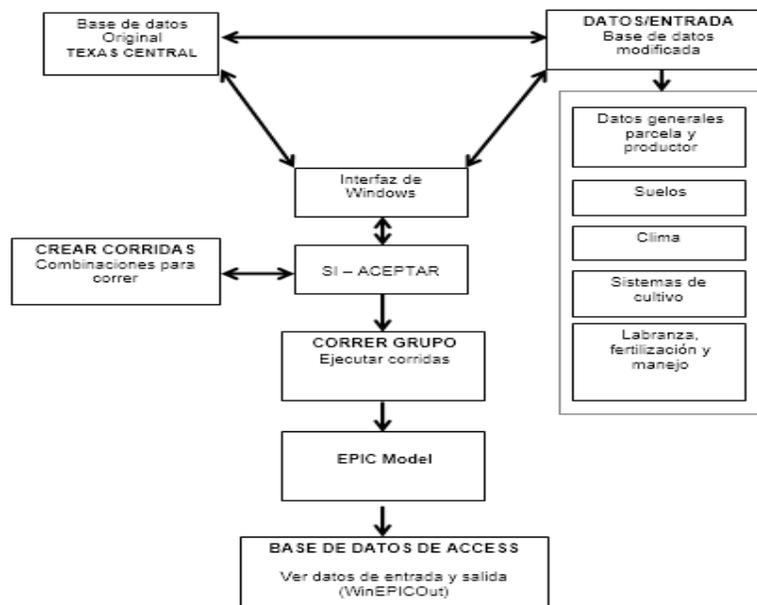
El modelo EPIC ha sido mejorado y modificado continuamente desde su desarrollo inicial, dentro de las últimas actualizaciones resaltan las realizadas por T. J. Gerik y W. L. Harman en 1996, las cuales se orientan a una interface con Windows. Para 2001, la

primera versión del trabajo fue denominada CROPMAN (*Crop Production and Management*) y se enfocó al manejo agrícola a través de entradas y salidas (gráficas y numéricas) para simular una variedad de prácticas de manejo y evaluar en tiempo real o por largos períodos las estrategias de manejo. Posteriormente los desarrolladores de EPIC crearon una interfaz, más amigable con el usuario, llamada WinEPIC (Gassman *et al.*, 2005).

Esta interfaz gráfica, llamada WinEPIC, funciona con un sistema de ventanas para el sistema operativo Windows®, diseñado para simular y hacer comparaciones de las prácticas agrícolas, de los sistemas de cultivo y su efecto sobre la erosión hídrica y eólica en la producción agrícola, la calidad del suelo y del agua (Gerik *et al.*, 2006) y la sustentabilidad del sistema de producción (Betanzos, 2002).

### 5.13. Componentes de WinEPIC

En la Figura 7 se presenta el esquema general de datos de entrada, procesamiento y archivos de salida en WinEPIC.



**Figura 7.** Esquema general de procesamiento de datos en WinEPIC, adaptado de Gerik *et al.* (2006).

El Cuadro 5 muestra los principales submódulos que componen el modelo WinEPIC y las principales funciones que ejecuta.

**Cuadro 5.** Componentes principales del modelo WinEPIC.

Componentes	Descripción	Datos entrada y funciones simuladas
Clima	Entrada de datos diarios y/o generados.	Precipitación, temperatura máxima y mínima, radiación solar, humedad relativa y velocidad de viento.
Manejo	Tipos de labranzas, sistemas de riego y formas de fertilización	Fertilizantes y abonos, cal, plaguicidas, riego, drenaje y labranza.
Hidrología	Dos opciones de infiltración y cuatro para ETP	Escurrimiento superficial, infiltración, flujo lateral subsuperficial, evapotranspiración
Erosión	Seis opciones para el cálculo de la erosión hídrica	Simulación de erosión hídrica y eólica.
Nutrientes	Ciclos del nitrógeno, fósforo y potasio	Distribución en: cultivo, disponible, escurrimiento superficial, mineralización y otros procesos.
Crecimiento de cultivo	Rutinas genéricas y flexibles para simular rotaciones	Biomasa del cultivo y rendimiento económico (100 cultivos)
Temperatura del suelo	Para su uso en el ciclo de nutrientes y en rutinas hidrológicas	Temperatura media de suelo diaria
Económicos	Lote simple de cultivos	Costos fijos y variables

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Gassman *et al.* (2003).

#### 5.14. Aplicaciones del modelo

El modelo WinEPIC se ha sido usado para evaluar el efecto del manejo en la productividad del suelo, erosión y captura del carbono en el suelo bajo un enfoque de sistemas agrícolas y ambientales, principalmente en Estados Unidos (Causarano *et al.*, 2007, 2008), Alemania (Billen *et al.*, 2009), Argentina (Apezteguia *et al.*, 2009), Mali (Doraiswamy *et al.*, 2007) y Texas en la evaluación económica de sistemas de cultivo de una forma integral (Martin, 2005). Se ha empleado para explicar la variabilidad en la producción de cultivos, las entradas y contenido de carbono orgánico en el suelo (SOC) y el ciclo del N en rotación de cultivos, bajo diferentes manejos y condiciones climáticas en periodos de 6 a 61 años, en un área de drenaje de 100 ha (Izaurrealde, 2006).

Actualmente esta versión de EPIC se ha usado para resolver problemas de manejo agrícola, calidad de agua (Torbet *et al.*, 2008), captura de carbono y cambio climático bajo diferentes sistemas de cultivo, tipos de labranza, evaluación de niveles de

fertilización en cereales (Gandonou y Dillon, 2007). En la estimación de rendimientos en maíz, algodón y cacahuate, Torbet *et al.* (2005) obtuvo, con respecto a los rendimientos observados y simulados, coeficientes de correlación de 0.71, 0.36 y 0.59 respectivamente. En el caso del algodón, la baja correlación estuvo asociada a la presencia de plagas y enfermedades, debido a la naturaleza del cultivo, las cuales el modelo no simula.

Los trabajos realizados por Torbet *et al.* (2008) probaron la capacidad del modelo, en un área de 150 ha, para evaluar la aplicación de estiércoles y fertilizantes en distintas fechas, así como el impacto directo en el rendimiento de forraje (pastos). Este trabajo asumió condiciones homogéneas de suelo, clima y manejo del cultivo; para un periodo de simulación de 36 años. Los resultados obtenidos muestran poca diferencia en rendimientos, sin diferencias en las pérdidas de P, por fecha de aplicación. Donde las pérdidas, se explican en mayor medida, por factores de manejo más que por las características de la planta.

### **5.15. Principales cambios en WinEPIC**

Al modelo se le han adicionado numerosas funciones, razón por la cual el nombre del modelo EPIC cambió de *Erosión/Productivity Impact Calculator* a *Environmental Policy Integrated Climate*; conservando el acrónimo establecido (Collopy y Thomas, 2010).

#### **a) Cambios Operativos**

Las modificaciones más representativas en WinEPIC son la entrada y salida, de un gran conjunto de simulaciones, en una sola base de datos en formato de Microsoft Access. Esta salida única facilita la consulta y obtener estadísticas de corridas previas, además de poder exportar los datos a otros softwares, tales como Microsoft Excel para su pos-proceso (Gassman *et al.*, 2002, 2003).

El ingreso de los datos requeridos por el modelo fue modificado para facilitar su uso, por ejemplo, el formato de los datos de clima diario (.dly) de la versión MSDOS requiere de

un block de notas y delimitar espacios entre columnas. Sin embargo, en WinEPIC el procesamiento de la información climática se realiza con ayuda del software *Weather Import*<sup>2</sup>, que es una herramienta de libre acceso en la web para importar y actualizar los archivos históricos de clima, que puede usarse también en CROPMAN y WinAPEX. Además de la descarga desde páginas web, la información también puede ser compilada por el usuario y permite analizar los datos bajo unidades métricas e inglesas y delimitar los espacios requeridos por el modelo para su lectura. Las variables climáticas diarias, de entrada son: año, mes, día, radiación solar, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa y velocidad de viento (Steglich y Francis, 2008).

## **b) Cambios Estructurales**

Las diferencias entre EPIC y WinEPIC son: la utilización de datos de agua lixiviada a nivel mensual para realizar la simulación de la dinámica del carbono, manejo, métodos de labranza y procesos de erosión en el suelo, interactuando con la humedad, temperatura, labranza y densidad del suelo. Pero no sólo describe el flujo del C a través del suelo - planta - atmósfera, sino también el transporte lateral de C orgánico en los residuos y el movimiento vertical del C orgánico disuelto por debajo de la zona radicular. También permite estimar las pérdidas de carbono orgánico a causa de la erosión hídrica y eólica, deposición, así como la variación de la densidad aparente y profundidad del suelo, por cambios en los contenidos de carbono orgánico debidos a erosión y evaporación del suelo (Liu *et al.*, 2003).

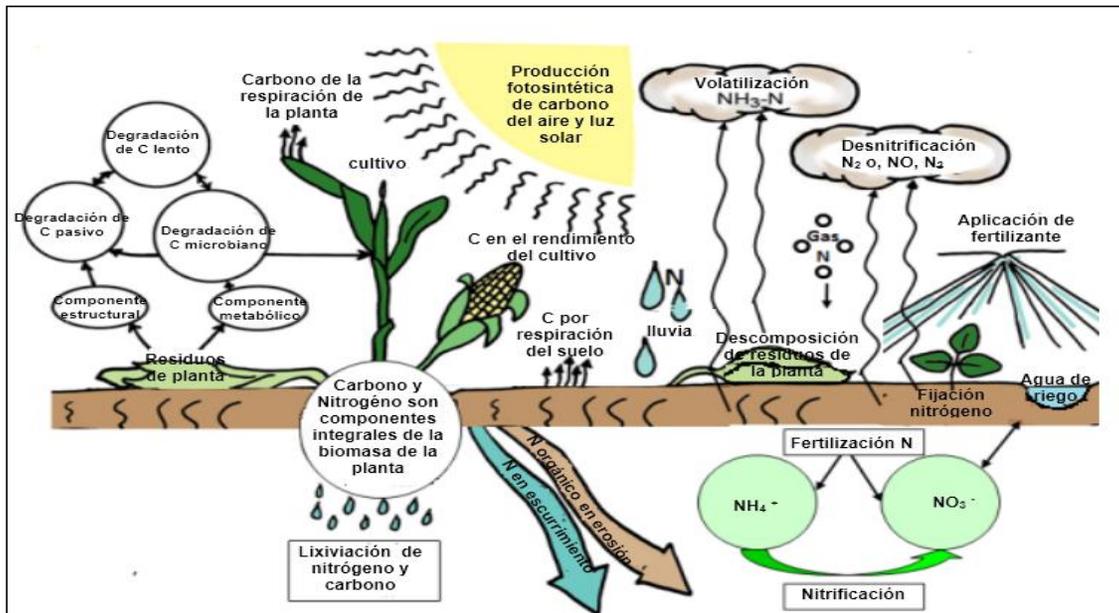
## **Dinámica de la materia orgánica en el suelo**

Versiones anteriores de EPIC utilizaban el modelo PAPRAN (*Production of Arid Pastures Limited by Rainfall and Nitrogen*) de Seligman y Van Keulen (1981) para

---

<sup>2</sup> EPIC & APEX Models. Weather Import (CW Analyzer). [En línea]. Disponible en: <http://epicapex.tamu.edu/downloads/model-executables/weather-import/>. (consultado el 14 de Septiembre de 2013).

calcular la dinámica y transformaciones del N en el suelo, a fin de estimar el carbono orgánico (SOC) a lo largo del perfil de suelo. En WinEPIC, se integraron las funciones de translocación del modelo Century (Parton *et al.*, 1994) para explicar las transformaciones e interacciones de C y N y su relación con la humedad del suelo, la temperatura, la erosión, la labranza, la densidad del suelo y la lixiviación (Figura 8).



**Figura 8.**Componentes biogeoquímicos del ciclo de carbono y nitrógeno en WinEPIC (Cooter *et al.*, 2012).

Las subrutinas introducidas al modelo permiten la descripción cuantitativa de las transformaciones de C y N a diferentes profundidades y hasta en 10 capas de suelo (Izaurre *et al.*, 2006). El N y C (contenido de lignina, residuos de cosechas incluyendo raíces) se dividen en dos secciones: metabólico y estructural. Las fuentes de C se definen a partir de la temperatura y humedad del suelo y las tasas potenciales de descomposición, diferencia en tamaño y tiempo de descomposición de la biomasa microbiana y humus lento y pasivo; en el caso de EPIC300, el cálculo solo se realizaba en las capas sub-superficiales. Para relacionar la dinámica del C en el suelo, con el manejo de los cultivos, métodos de labranza y procesos de erosión (Sobocka *et al.*, 2007) el modelo simula la concentración de lignina, según la edad de la planta, a través de una función sigmoideal.

En comparación al modelo Century, las ecuaciones de lixiviación implementadas en las nuevas versiones de EPIC, usan un coeficiente de regresión lineal y el contenido de agua en el suelo para modificar el movimiento por efecto de la absorción. Este coeficiente se utiliza para mover los materiales orgánicos de la hojarasca superficial, a las capas del subsuelo, con base a tasas de transformación según la temperatura y humedad del suelo. En EPIC, la porción de hojarasca (residuos o rastrojos) incluye una tasa de descomposición lenta, en comparación a los componentes metabólicos estructurales incluidos en Century (Parton *et al.*, 1994).

WinEPIC incluye ecuaciones para describir los efectos de la textura del suelo, en arenas y arcillas, en la estabilización del C total a profundidades mayores de 30 cm; en función de las tasas de mineralización de C del material orgánico, la dinámica a corto plazo (1-2 años) de los residuos vegetales incorporados y la pérdida de carbono del suelo debido al cultivo. En WinEPIC se ha modificado la profundidad de las capas del suelo superiores, de 15 a 45 cm, para conocer el impacto de las prácticas de manejo en los procesos biogeoquímicos (Cooter *et al.*, 2012, Farina *et al.*, 2011).

WinEPIC examina el efecto del cambio de concentración de CO<sub>2</sub> en el crecimiento de las plantas teniendo en cuenta: el incremento y eficiencia del uso del agua y el déficit de presión de vapor sobre la eficiencia en el uso de la radiación solar, la resistencia estomática de la hoja y la transpiración de los cultivos (Stockle *et al.*, 1992).

En el caso de la fertilización en WinEPIC, se incrementó a 68 formas disponibles (orgánico y mineral) de NPK en comparación a la versión de MSDOS que incluye solo 42 fuentes.

### **5.16. Ajuste de parámetros**

La versión de WinEPIC se ha empleado en Italia para conocer la dinámica del carbono en el suelo bajo rotación de cultivos y dos tipos de labranza: tradicional y no tradicional. Para su calibración y validación usaron datos de rendimientos, contenido de carbono en el suelo y los parámetros de cultivo incluidos por default en el modelo. El rendimiento de

los cultivos y el contenido de carbono orgánico del suelo mostraron diferentes respuestas dependiendo del clima y el tipo de labranza, en particular para el maíz, bajo un sistema no tradicional (Francaviglia *et al.*, 2010).

En China el modelo fue utilizado para evaluar los efectos de la rotación de maíz de primavera – trigo de invierno, bajo diferentes niveles de fertilización (sin fertilización, 90 kg ha<sup>-1</sup> de N y 90 kg ha<sup>-1</sup> de N y 30 kg ha<sup>-1</sup> de P). Los parámetros de cultivo ingresados al modelo, específicamente el maíz, se muestran en el Cuadro 6:

**Cuadro 6.** Parámetros de WinEPIC para el cultivo de maíz en China (Wang *et al.* 2008).

VARIABLE	VALOR	DESCRIPCIÓN
WA	42	Factor de conversión Energía- Biomasa (t m <sup>-2</sup> MJ)
HI	0.5	Índice de cosecha (0.01-0.95).
TB	25	Temperatura óptima para el crecimiento vegetal (°C).
TG	8	Temperatura mínima para el crecimiento vegetal (°C).
DMLA	6	Índice de área foliar máxima potencial.
DLAI	0.8	Fracción de la estación de crecimiento cuando el índice de área foliar empieza a declinar (0.4-0.99).
RLAD	1	Parámetro declinación del índice de área foliar (0-10).
RBMD	1	Parámetro de declinación de la conversión energía- biomasa (0-10).
GSI	0.007	Máxima conductancia estomatal (m s <sup>-1</sup> ).
HMX	2	Altura máxima del cultivo (m).
RDMX	4	Profundidad máxima de raíz (m).
FRST1	5.01	Parámetro de daño por heladas, número antes del decimal= temperatura mínima, número después del decimal= fracción perdida cuando se experimenta la temperatura mínima.
FRST2	15.95	Parámetro de daño por heladas, número antes del decimal= temperatura mínima, número después del decimal= fracción perdida cuando se experimenta la temperatura mínima.
RWPC1	0.4	Coefficiente de partición de biomasa/peso raíces en emergencia.
RWPC2	0.2	Coefficiente de partición de biomasa/peso raíces en madurez.

Los resultados obtenidos en la validación tuvieron coeficientes de correlación (r) de 0.86, 0.88 y 0.82 respectivamente, esto indicó que el modelo realizó buenas estimaciones, sin embargo, existieron diferencias significativas, entre los tratamientos evaluados, respecto a la disponibilidad de agua en el suelo (Wang *et al.*, 2008).

En Italia se aplicó el modelo WinEPIC (ver. 1.0) en sorgo, con el fin de evaluar los efectos de cambio de temperatura y precipitación en el rendimiento del cultivo para un período de 55 años (1951-2005). Para la calibración y validación, se tomaron datos experimentales de 2 años para obtener el índice de área foliar (LAI) y biomasa

acumulada (STL). En el caso de la calibración se ajustaron la relación biomasa-energía, de 35 a 50 kg ha<sup>-1</sup> MJ m<sup>-2</sup>; unidades calor requeridas para la germinación, de 100 a 150 °C; altura máxima del cultivo, de 2 a 5 m; e índice de área foliar máximo, de 5 a 8 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. Los resultados mostraron que el incremento de la temperatura provocó la reducción del ciclo de cultivo de 14 a 19 días, una maduración más rápida de la cosecha, una menor evapotranspiración, una disminución de los volúmenes de riego del 22%, un menor rendimiento de biomasa y una disminución del rendimiento de 0.25 a 0.65 t ha<sup>-1</sup> (Rinaldi y De Luca, 2012).

Xianzeng *et al.* (2009) sugieren que la ejecución del modelo sin una calibración previa de parámetros puede contribuir a errores en la simulación. Asimismo, Xue *et al.* (2011) indican que la construcción de la base de datos de suelos, requerida por el modelo, constituye un factor clave en los resultados de la simulación. Por lo que recomienda poner mayor énfasis en los valores de densidad aparente y los contenidos de arena, limo y arcilla; los cuales influyen en la simulación de la humedad en el suelo. Boyer y Westgate (2004) señalan que los días de estrés por agua y temperatura, que sufra el maíz, disminuyen el rendimiento simulado de grano y estos han de tenerse en cuenta ya que inhiben la fotosíntesis y distribución de nutrientes a los órganos en desarrollo del maíz.

### **5.17. Limitaciones**

Bishop *et al.* (2010) observaron que el modelo WinEPIC no permite evaluar la calidad del producto y que las mejoras tecnológicas incorporadas no muestran sensibilidad al simular rendimientos. Torbet *et al.* (2008) concluyen que WinEPIC no diferencia en las fuentes de fertilización aplicadas, de acuerdo con la época de aplicación, pero sí identifica limitaciones en el suministro de C al cultivo y la absorción del N.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Descripción de la zona de estudio

El modelo EPIC, en sus versiones Windows y MSDOS, se utilizó en parcelas productoras de maíz ubicadas en dos zonas del Estado de México (Figura 9), las cuales se diferencian por sus condiciones ambientales y sistemas de producción del cultivo.

Las parcelas se localizaron en la zona oriente, dentro del distrito de Texcoco, entre las latitudes  $9^{\circ}40'17.58''$  y  $18^{\circ}55'24.04''$  y las longitudes  $-99^{\circ}55'45''$  y  $-98^{\circ}39'28''$ . En la zona norponiente del estado, en el municipio de Acambay, entre los paralelos  $19^{\circ}50'$  y  $20^{\circ}00'$  de latitud Norte y los meridianos  $99^{\circ}45'$  y  $100^{\circ}00'$  de longitud Oeste; con acceso por la carretera federal 55, a 90.5 km de la ciudad de Toluca (Figura 10)



**Figura 9.** Ubicación de las zonas de estudio, Estado de México, México.

## **6.2. Fisiografía**

Las zonas oriente y norponiente pertenecen a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y la subprovincia de los Lagos y Volcanes de Anáhuac, dentro del sistema de topoformas que comprenden planicies, lomeríos, sierra y vasos lacustres. Las parcelas en Texcoco se localizaron a una altitud entre 2,240 y 2,479 msnm, mientras que las de Acambay se ubicaron entre 2,506 a 2,652 msnm.

## **6.3. Hidrología**

La zona oriente se ubica en las subregiones del Valle de México y Alto Balsas correspondientes a la Región Hidrológica Río Pánuco (RH26) y Río Balsas (RH18) respectivamente. Por otro lado, la zona norponiente se localiza en la subregión del Alto Lerma perteneciente a la Región Hidrológica Río Lerma-Santiago (RH12). El abastecimiento de agua para riego, en ambas zonas, proviene principalmente de pequeños almacenamientos y pozos profundos (Alcántara, 2004; Domínguez, 2003; Zavaleta *et al.*, 2005).

## **6.4. Geología**

En las zonas oriente y norponiente las rocas son de origen volcánico (andesita, basalto, tobas y tepetates) asociadas con depósitos sedimentarios del cuaternario de tipo fluvial y lacustre (Herrera, 1993).

## **6.5. Clima**

De acuerdo con García (1973), la zona oriente presenta el más húmedo de los climas templados; con una precipitación media anual de 660.7 mm y temperatura media anual entre 15 y 16 °C; con variabilidad en las llanuras lacustres menor de 5 °C. El rango de temperatura para el mes más frío fluctúa entre los -2 y 18 °C y en el mes más cálido entre los 7.5 y 27 °C. Las heladas se presentan entre octubre y marzo, incluso en abril. La precipitación media anual varía entre 400 y 1000 mm con una temporada de lluvias

entre junio y octubre, que registra del 70 al 90% de la precipitación anual (Lozano y Xelhuantzi, 1997).

Según el sistema de Köppen, modificado por García (1973), el clima en la zona norponiente clasifica como C (W<sub>1</sub>) (W) b (i), que corresponde a un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano e invierno bien definido, con temperatura media anual de 13.3 °C y una precipitación media anual de 838.5 mm; distribuida de forma uniforme, con 70% de probabilidad, desde principios de junio hasta finales de septiembre. El período libre de heladas abarca del 25 de febrero al 7 de octubre, con una probabilidad del 80% de ocurrencia de lluvia (Fernández, 1996).

## **6.6. Suelos**

Los suelos presentes en las parcelas productoras de maíz del oriente y norponiente, son de origen volcánico, principalmente de depósitos aluviales recientes y coluviales arcillosos ubicados en planicies. Estos suelos provienen principalmente de materiales no consolidados (de arrastre) por lo que son excelentes tierras agrícolas, por su buena fertilidad y porosidad, que facilitan el enraizamiento y almacenamiento de agua; sin embargo, los terreno más planos presentan problemas de inundación en época de lluvias (FAO, 2006).

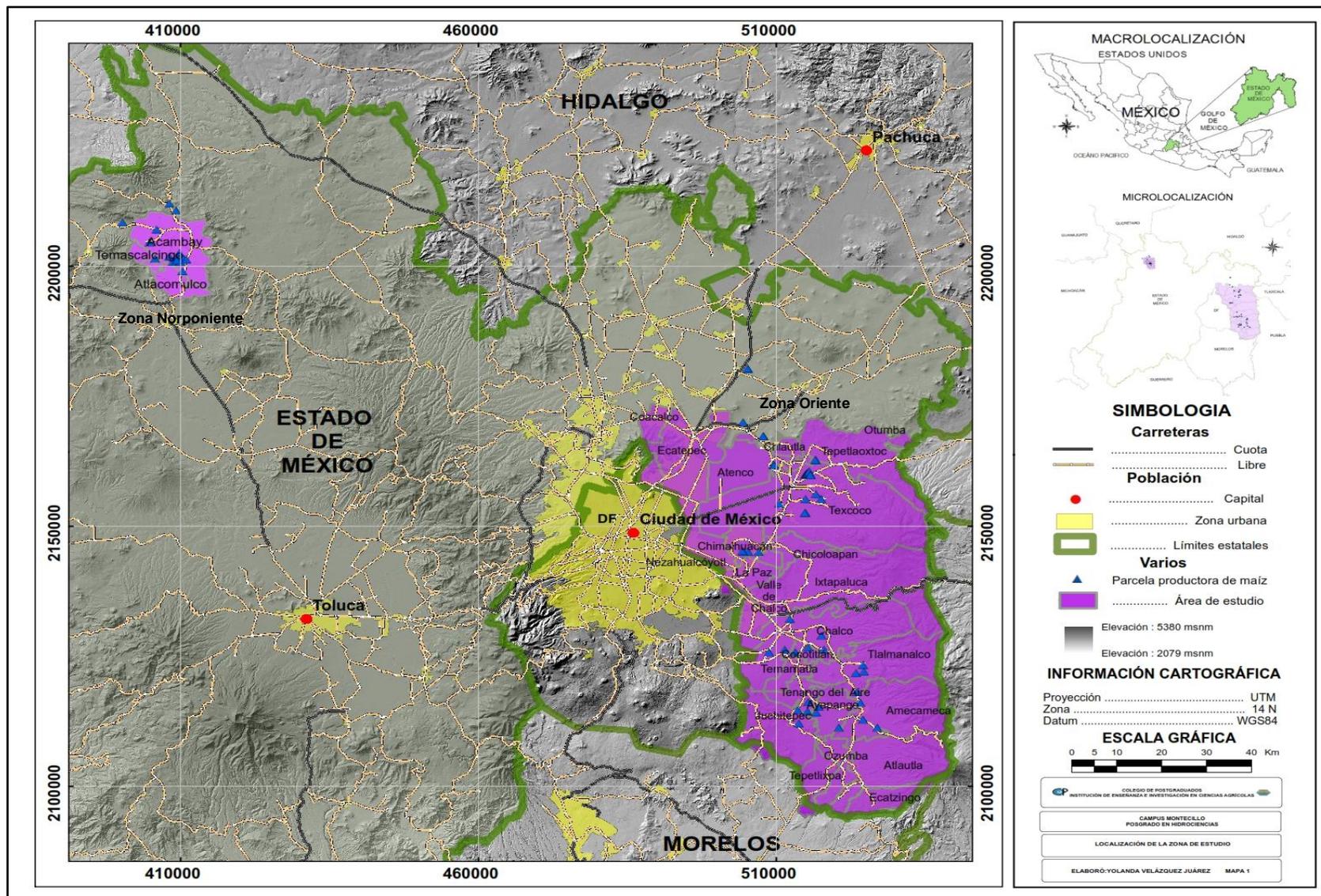


Figura 10. Mapa de localización de las zonas de oriente y norponiente, Estado de México, México.

## 6.7. Marco metodológico

Se utilizó el modelo *Environmental Policy Integrated Climate* (EPIC) como herramienta para la estimación de rendimientos de maíz a nivel de parcela, en sus versiones en ambiente MSDOS (EPIC5300) y en Windows (WinEPIC 5.0). Para el ajuste de parámetros y la comparación de ambas versiones de EPIC, con relación a los rendimientos de maíz, se tomaron como referencia los rendimientos de grano de parcelas productoras de maíz con seguimiento en el Proyecto Estratégico de Apoyo a la Cadena Productiva de los Productores de Maíz y Frijol (PROMAF) para los años 2007, 2008 y 2010 y datos de Fernández (1996, 2008). La presente investigación se llevó a cabo en términos generales, de acuerdo al diagrama metodológico mostrado en la Figura 11.

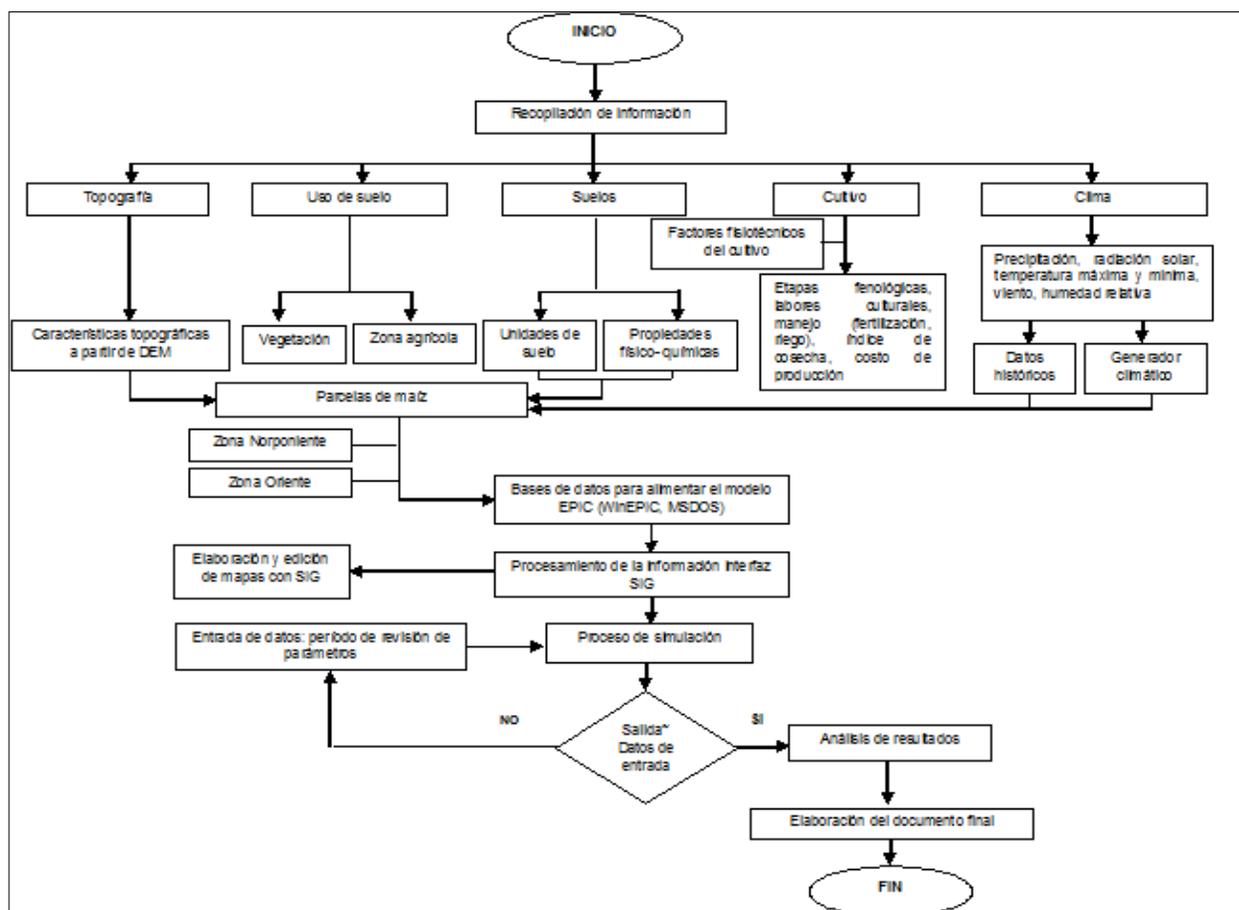


Figura 11. Diagrama de flujo metodológico.

## 6.8. Recopilación de información

Las parcelas de maíz bajo estudio, en primer lugar, se ubicaron geográficamente y posteriormente se integraron, para las versiones MSDOS y WinEPIC, las bases de datos correspondientes. Ambas bases de datos incluyeron la siguiente información:

a) **Clima:** Se identificaron 24 estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicadas en las áreas de interés (Figura 12). La información meteorológica utilizada, durante el ciclo del cultivo por cada parcela, fue la temperatura (máxima y mínima) y la precipitación diaria (Cuadro 7). Los datos diarios de temperatura (máxima, mínima) y precipitación faltantes, para los años en que se compararon los rendimientos de grano simulados y observados, se generaron a partir de la interpolación diaria de las estaciones meteorológicas más cercanas a cada parcela.

**Cuadro 7.** Estaciones meteorológicas con influencia en las parcelas productoras de maíz.

Zona <sup>1</sup>	Clave SMN	Nombre	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Elevación (msnm)	Precipitación media anual (mm)
I	15007	Amecameca de Juárez, Amecameca	19.128	-98.767	2479	949.9
I	15138	Atenco(CFE),Atenco	19.550	-98.917	2234	548.8
I	15008	Atenco (DGE). Atenco	19.544	-98.912	2236	592.6
I	15020	Chalco, Chalco	19.259	-98.897	2243	627.9
I	15170	Chapingo. Texcoco	19.493	-98.888	2247	597.7
I	15000	Montecillo, Texcoco (CP)	19.467	-98.900	2219	554.7
I	15167	El Tejocote, Texcoco	19.441	-98.910	2236	555.6
I	15039	Juchitepec, Juchitepec	19.101	-98.879	2306	752.2
I	15094	San Luis Ameca, Tenango Del Aire	19.181	-98.858	2400	674.8
I	15103	San Pedro Nexapa, Amecameca	19.083	-98.735	2638	896.5
I	15106	San Rafael, Tlalmanalco	19.209	-98.755	2572	1067.7
I	15090	Sn. Jerónimo Xonacahuacan, Tecámac	19.744	-98.952	2255	612.4
I	15091	San José De Las Presas, Otumba	19.653	-98.707	2657	674.7
I	15124	Tepexpan, Acolman	19.613	-98.936	2250	604.8
II	15001	Acambay	19.957	-99.846	2544	846.0
II	15029	El Tejocote	19.862	-99.918	2449	840.9
II	15078	Fabela	19.825	-99.791	2718	775.4
II	15084	San Andrés Timilpan	19.875	-99.735	2658	967.7
II	15104	San Pedro Potla	19.855	-99.968	2450	852.5
II	15117	Temascalcingo	19.920	-100.012	2377	677.7
II	15244	Muytejé	20.022	-99.931	2840	804.4
II	15251	Atlacomulco	19.798	-99.874	2574	741.0
II	15261	El Jazmín	20.021	-99.880	2650	820.4
II	15361	Pozo Ocho	19.956	-99.746	2626	717.9

<sup>1</sup> I= Zona oriente, II=Zona norponiente

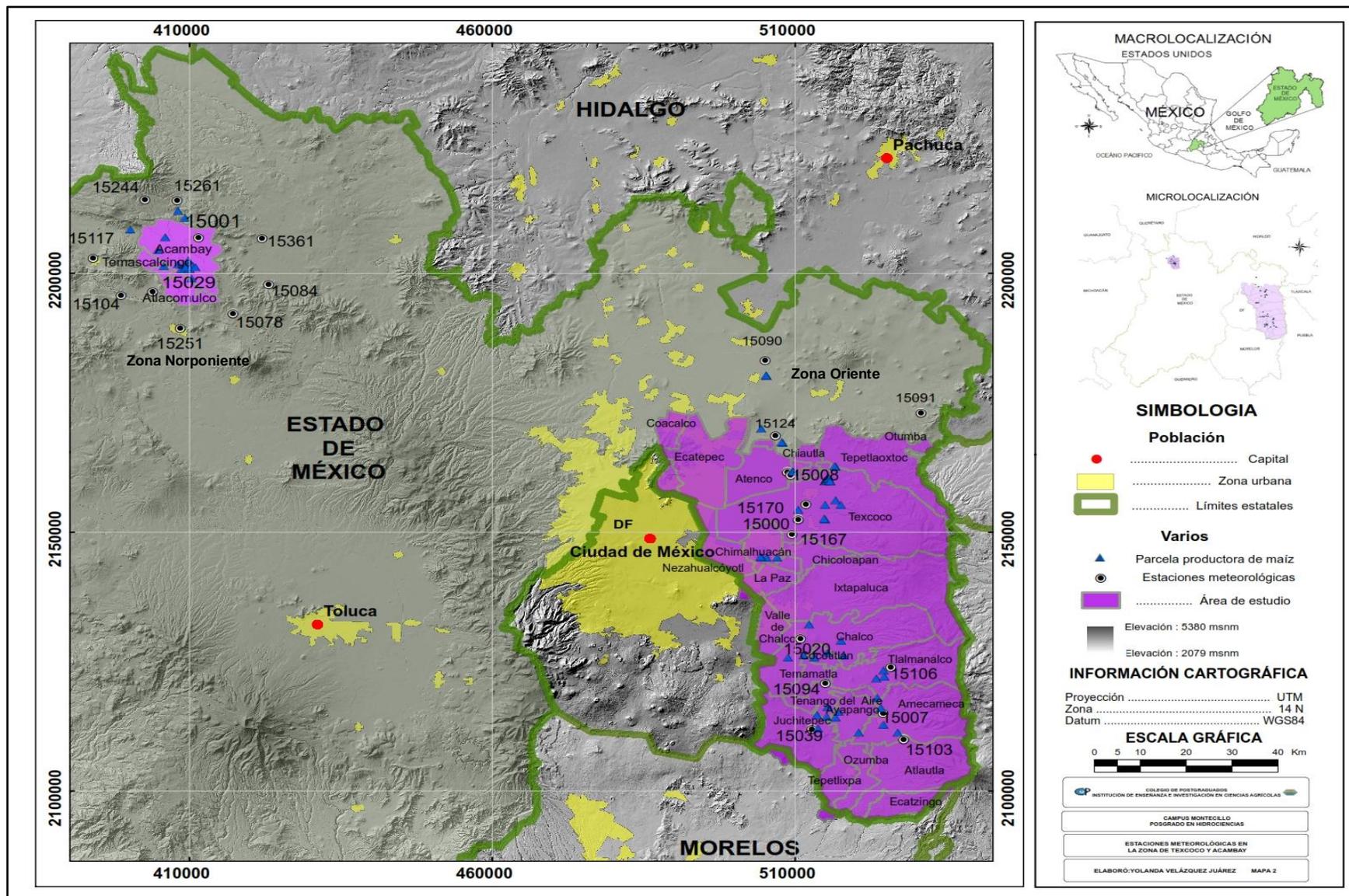
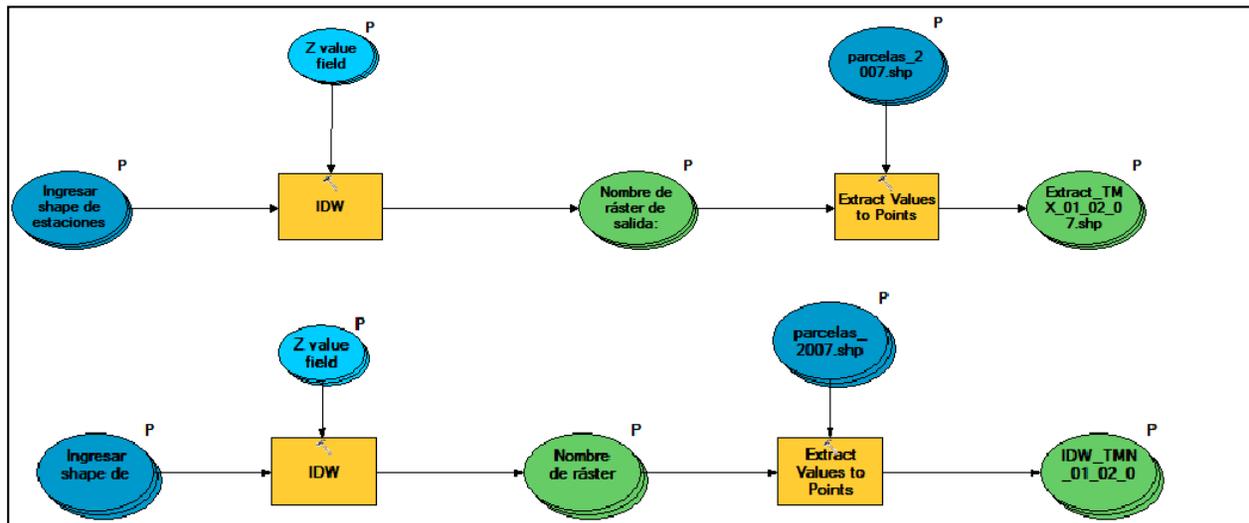


Figura 12. Mapa de localización de estaciones meteorológicas en la zona oriente y norponiente, Estado de México, México.

La interpolación diaria, con una resolución de 30 m, se realizó a través del método IDW (Inverso del Cuadrado de la Distancia). Este método es el más recomendado para obtener datos faltantes de precipitación y temperatura, el cual asigna a los valores más cercanos mayor influencia (Andrade y Moreano, 2013; ESRI, 2013). Para automatizar el proceso de interpolación, con el uso del módulo *Model Builder de ARGIS 9.3*, se construyó un modelo geoespacial para procesar las variables de interés (Figura 13).



**Figura 13.** Modelo geoespacial para obtener datos diarios de las variables mediante el método IDW.

Los datos diarios de radiación solar y humedad relativa se estimaron con el generador climático<sup>3</sup> de EPIC en la versión de MSDOS (WXGEN), que emplea parámetros estadísticos mensuales de temperatura (°C), lluvia (mm), radiación solar (Ly), humedad relativa (%) y viento (m s<sup>-1</sup>). La información de los generadores climáticos empleados se encuentran en el Anexo 1.

<sup>3</sup> Temperatura máxima promedio mensual (TMX), Temperatura mínima promedio mensual (TMN), Desviación estándar mensual de la temperatura máxima del aire (SDMX), Desviación estándar mensual de la temperatura mínima del aire (SDMN), Precipitación promedio mensual (PRCP), Desviación estándar de la precipitación mensual (SDRF), Coeficiente de sesgo de la precipitación (SKRF), Probabilidad de la lluvia de 1 día húmedo/seco (PW|D), Probabilidad de la lluvia de 1 día húmedo/húmedo (PW|W) y Número de días con precipitación en el mes (DAYP).

Los datos de velocidad de viento ( $m s^{-1}$ ) requerida para calcular la evapotranspiración del cultivo, se tomó de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA)<sup>4</sup> y del SMN para 11 estaciones (Cuadro 8). Los datos meteorológicos utilizados en el modelo fueron para los años 1972, 1973, 1976, 1977, 1980, 1983, 1988, y 1990 para las parcelas de la zona oriente y 2007, 2008 y 2010 para parcelas de la zona norponiente.

**Cuadro 8.** Velocidad media mensual del viento ( $m s^{-1}$ ) para las estaciones meteorológicas más cercanas a las parcelas estudiadas.

No	Nombre	Clave SMN	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
1	Amecameca de Juárez, Amecameca, Méx.	15007	2.3	2.1	2.2	2.3	2.1	2.0	2.1	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2
2	Atenco (DGE), Atenco, Méx.	15008	1.4	1.7	1.6	1.4	1.4	1.8	1.6	1.6	1.4	1.6	1.5	1.6
3	Chalco, Chalco, Méx.	15020	1.8	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0	1.7	1.8	1.7	1.7	1.8	1.9
4	Sn. Jerónimo Xonacahuacan, Tecamac, Méx.	15090	1.2	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4
5	San Luis Ameca, Tenango del Aire, Méx.	15094	2.6	3.5	3.4	3.1	2.6	3.1	3.0	2.5	2.5	2.7	2.6	3.0
6	San Rafael, Tlalmanalco, Méx.	15106	1.0	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	0.9	1.1
7	Tepexpan, Acolman, Méx.	15124	1.4	1.6	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.4
8	Atenco (CFE), Atenco, Méx.	15138	3.5	3.5	3.1	3.4	3.4	3.2	3.1	3.3	2.8	2.9	3.1	4.0
9	El Tejocote, Texcoco, Méx.	15167	1.9	2.2	2.3	2.1	2.3	2.2	2.2	1.9	2.6	2.3	1.8	2.3
10	Chapingo, Texcoco, Méx.	15170	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	2.3	1.7	2.2	1.9	1.8	1.8	1.9
11	Toluca <sup>1</sup>	-----	4.3	4.6	4.7	4.6	4.4	4.3	3.9	4.2	3.9	4.0	3.7	3.4

<sup>1</sup>Valor promedio de los últimos 11 años (período 2002-2012).

## b) Suelos

La información edafológica para la zona de estudio se obtuvo de trabajos realizados por Fernández (2008) en la zona oriente. (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Principales tipos de suelos presentes en las parcelas analizadas.

Zona	Suelos	Grupo hidrológico <sup>1</sup>	Textura	Profundidad m	Pendiente %
I	Amecameca I	B	Franco arenoso	2.24	0.0
I	Amecameca II	B	Franco arenoso	1.44	4.7
I	Amecameca III	B	Franco arenoso	2.01	1.2
I	Amecameca IV	B	Franco arenoso	1.51	4.3
I	Chalco I	B	Franco arenoso	2.24	0.0
I	Chalco II	B	Franco arenoso	2.24	0.0
I	Chicoloapan	D	Arcillo limoso	0.40	23.4
I	Chiconcuac I	D	Arcillo limoso	2.24	0.0

<sup>4</sup> NOAA. 2013. National Climatic Data Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. [En línea]. Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov>. (consultado el 04 de septiembre de 2013).

Cuadro 9. Continuación...

I	Chiconcuac II	D	Arcillo limoso	2.24	0.0
I	Chimalhuacán	D	Arcillo limoso	1.64	3.3
I	Coatlinchán I	D	Arcillo limoso	1.20	6.7
I	Coatlinchán II	D	Arcillo limoso	1.20	6.7
I	Cocotitlán I	B	Franco arenoso	1.64	3.3
I	Cocotitlán II	B	Franco arenoso	1.75	2.6
I	Cocotitlán III	B	Franco arenoso	2.24	0.0
I	Colonia	B	Limoso	1.42	4.9
I	INIFAP, Chapingo	D	Arcillo limoso	1.64	3.3
I	Juchitepec I	B	Franco arenoso	0.66	13.2
I	Juchitepec II	B	Limoso	2.24	0.0
I	Juchitepec III	B	Limoso	1.04	8.3
I	Juchitepec IV	B	Limoso	1.61	3.5
I	Loma de Guadalupe I	B	Franco arenoso	0.30	36.7
I	Loma de Guadalupe II	B	Franco arenoso	0.57	14.8
I	Lomas de S.J. Chapingo I	D	Arcillo limoso	1.64	3.3
I	Lomas de S.J. Chapingo II	D	Arcillo limoso	2.24	0.0
I	Lomas de S.J. Chapingo III	D	Arcillo limoso	1.75	2.6
I	Lomas de S.J. Chapingo IV	D	Arcillo limoso	2.24	0.0
I	Lomas de S.J. Chapingo VII	D	Arcillo limoso	2.24	0.0
I	Lomas de S.J. Chapingo VII	D	Arcillo limoso	2.24	0.0
I	Montecillo, CP.	D	Arcillo limoso	2.24	0.0
I	Nativitas I	D	Arcillo limoso	1.12	7.5
I	Papalotla I	B	Limoso	1.64	3.3
I	Papalotla II	B	Limoso	1.42	4.9
I	Tecamac, CP I	B	Limoso	1.75	2.6
I	Tecamac, CP II	B	Limoso	2.24	0.0
I	Tenango del Aire I	B	Limoso	1.58	3.7
I	Tenango del Aire II	B	Franco arenoso	1.44	4.7
I	Tenango del Aire III	B	Franco arenoso	1.58	3.7
I	Tezoyuca I	B	Limoso	1.64	3.3
I	Tezoyuca II	B	Limoso	2.24	0.0
I	Tlamanalco I	B	Franco arenoso	2.24	0.0
I	Tlamanalco II	B	Franco arenoso	1.29	5.9
I	Tlamanalco III	B	Franco arenoso	1.20	6.7
I	Totolzingo	B	Limoso	2.01	1.2
I	Xaltepa	B	Limoso	1.51	4.3
II	Parcela 51	C	Arcillo limoso	0.47	13.5
II	Parcela 52	D	Arcilloso	0.50	12.8
II	Parcela 53	C	Arcillo limoso	1.17	3.7
II	Parcela 54	C	Franco limoso	0.93	6.2
II	Parcela 55	C	Arcilloso	1.03	5.1
II	Parcela 56	C	Franco limoso	1.66	0.0
II	Parcela 57	D	Franco arcilloso	1.03	5.1
II	Parcela 58	C	Arcillo limoso	1.66	0.0
II	Parcela 59	C	Franco limoso	1.17	3.7
II	Parcela 60	C	Franco limoso	1.28	2.8
II	Parcela 61	C	Franco limoso	1.28	2.8
II	Parcela 62	C	Arcillo limoso	1.66	0.0
II	Parcela 63	D	Franco arcilloso	0.86	7.1
II	Parcela 64	C	Franco limoso	1.66	0.0
II	Parcela 65	C	Arcilloso	0.92	6.4
II	Parcela 66	D	Franco arcilloso	1.15	3.9
II	Parcela 67	C	Franco limoso	1.66	0.0

<sup>1</sup> I= Zona oriente, II=Zona norponiente, Grupos hidrológicos de suelo basado en la textura A= Contenido de arena  $\geq$  80%, B= Contenido de arena de 60-80%, C= Contenido de arena < 50% y arcilla < 40%, D= Contenido de arcilla >40% (Wanielista, 1990).

El muestreo de suelos en la zona norponiente se realizó en 17 parcelas productoras de maíz a 30, 60 y 90 cm de profundidad. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, donde se determinó los siguientes parámetros: pH, materia orgánica, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE), de acuerdo con los métodos indicados en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Parámetros del suelo determinados en laboratorio.

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>
pH	pH-metro
Materia Orgánica (M.O.)	Walkley y Black
Textura (arenas finas)	Pipeta americana
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Acetato de amonio 1N pH 7
Conductividad Eléctrica (CE)	Puente de conductividad

Los parámetros del suelo requeridos por el modelo por capa, en sus dos versiones, fueron: profundidad del suelo (Z), densidad aparente (BD), contenido de arena (SAN), limo (SIL), pH, concentración de carbono orgánico (CBN), capacidad de intercambio catiónico (CEC), conductividad a saturación (SC) y albedo del suelo (SALB); dicha información se presenta en el Anexo 5.

### **c) Parámetros de cultivo**

Los parámetros fisiotécnicos requeridos por el submodelo de crecimiento para el cultivo de maíz, fueron considerados, en primera instancia, a partir de los trabajos realizados por Fernández (1996, 2008), ICAMEX (2000), Licona *et al.* (2006) y Torres *et al.* (2004). Se observó que en la versión de WinEPIC se incorporaron nuevos parámetros para el submodelo de crecimiento, no incluidos en MSDOS; los valores para las variables fisiológicas necesarias se muestran en el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Parámetros fisiológicos para el cultivo de maíz en el Estado de México.

Variable	Definición	Unidades	Submodelo	MSDOS	WinEPIC
WA	Relación biomasa-energía (Para CO <sub>2</sub> = 330 ppm)	kg ha <sup>-1</sup> MJ	Crecimiento	40	40
HI	Índice de cosecha	Adimensional	Rendimiento	0.33	0.33
TOP	Temperatura óptima o base para el crecimiento de la planta	°C	Crecimiento	25	25
TBS	Temperatura mínima para el crecimiento de la planta	°C	Crecimiento	8	8
DMLA	Índice de área foliar máximo	m <sup>2</sup>	General	3.9	3.9
DLAI	Fracción de la estación de crecimiento cuando LAI comienza a declinar		Crecimiento	0.8	0.8
DLAP1	Curva de crecimiento del área foliar, primer punto		Crecimiento	15.05	15.05
DLAP2	Curva de crecimiento del área foliar, segundo punto		Crecimiento	50.95	50.95
RLAD	Parámetro de declinación del LAI		Crecimiento	1	1
RBMD	Parámetro de declinación de conversión biomasa- energía		Crecimiento	1	1
ALT	Tolerancia al aluminio		Estrés	3	3
GSI	Conductancia estomatal máxima	ms <sup>-1</sup>	Crecimiento	0.007	0.007
CAF	Factor de aireación crítica		Estrés	0.85	0.85
SDW	Kilogramos de semilla por parcela	kg ha <sup>-1</sup>	General	20	20
HMX	Altura máxima del cultivo	m	General	2.7	2.7
RDMX	Profundidad máxima de enraizamiento	m	General	1	1
WAC2L	Concentración más alta de CO <sub>2</sub> en la atmósfera	ppm		660.44	660
WAC2	Corresponde al valor de tasa de conversión biomasa- energía				4485
CNY	Fracción normal de nitrógeno en el rendimiento	g g <sup>-1</sup>	Nutrientes	0.0175	0.0175
CPY	Fracción normal de fósforo en el rendimiento	g g <sup>-1</sup>	Nutrientes	0.0025	0.0025
CKY	Fracción normal de potasio en el rendimiento	g g <sup>-1</sup>	Nutrientes	----	0.0032
WSYF	Coefficiente de sensibilidad de rendimiento del cultivo al estrés hídrico en su etapa más crítica de desarrollo		General	0.01	0.01
PST	Factor de daño ocasionado por plagas(insectos, malezas y enfermedades)		Estrés	0.6	0.6
WCY	Contenido de agua en el rendimiento		Rendimiento	0.15	0.15
BN1	Fracción de nitrógeno en diferentes etapas del cultivo (Emergencia)		Nutrientes	0.044	0.044
BN2	Madurez		Nutrientes	0.0164	0.0164
BN3	Senescencia		Nutrientes	0.0128	0.0128
BP1	Fracción de fósforo en diferentes etapas del cultivo (Emergencia)		Nutrientes	0.0062	0.0062
BP2	Madurez		Nutrientes	0.0023	0.0023
BP3	Senescencia		Nutrientes	0.0018	0.0018
BW1	Factor de erosión eólica por tipo de residuo (emergencia)		Erosión	0.433	0.433
BW2	Madurez		Erosión	0.433	0.433
BW3	Senescencia		Erosión	0.213	0.213
FRST1L	Curva de daño por heladas ( 1er temperatura mínima)	°C	Estrés	5.01	5
FRST1R	Fracción de pérdida de biomasa por día por temperatura mínima		Estrés	----	0.15
FRST2L	Curva de daño por heladas (2da temperatura mínima)	°C	Estrés	15.95	16
FRST2R	Fracción de pérdida de biomasa por día por temperatura mínima		Estrés	----	0.2
WAVP	Declinación de la eficiencia del uso de la radiación con el déficit de presión de vapor		Crecimiento	8	8
VPD2	Valor de déficit de presión de vapor	kPa	Crecimiento	4.75	4.75
GMHU	Unidades calor requeridas para la germinación	°C	Crecimiento	100	100
PPLP1L	Densidad de plantas	plt m <sup>-2</sup>	Crecimiento	----	4
PPLP1R	Primera fracción del índice de área foliar máximo (LAI)		Crecimiento	----	0.47
PPLP2L	Curva de LAI en la densidad de plantas (segundo punto)		Crecimiento	----	7
PPLP2R	Segunda fracción del índice de área foliar máximo (LAI)		Crecimiento	----	0.77
STX1	Relación de rendimiento/ salinidad		Rendimiento	----	0.12
STX2	Valor de Salinidad		Estrés	----	1.7
BLG1	Fracción de lignina en la planta a 0.5 de madurez		Crecimiento	----	0.01
BLG2	Fracción de lignina en la planta a madurez		Crecimiento	----	0.1
EXTC	Coefficiente de extinción de luz		Crecimiento	----	0.65

#### d) Manejo de cultivo

Los datos de manejo de cultivo requeridos por EPIC son: fechas de siembra, cosecha, preparación del terreno, fertilización, riego, aplicación de plaguicidas, escardas, y tipo de maquinaria empleada. La información de las prácticas de manejo del cultivo en cada parcela se obtuvo, para la zona oriente, de Fernández (2008) y para la zona norponiente de las bitácoras de seguimiento técnico del PROMAF para los años 2007,

2008, 2010. En el Cuadro 12 se muestran el resumen general de manejo de cultivo, usado para el análisis, y en el Anexo 6 se detalla la información por parcela.

**Cuadro 12.** Resumen general de manejo del cultivo utilizados.

Variable	Descripción				
	Criolla	Criolla Blanca	H-129	H-28	H-32
TS <sup>1</sup>	Criolla Amarillo	Criollo	H-149	H-30	HC-8
FS <sup>2</sup> (MD/A)	03/24/72	04/09/90	04/15/10	05/21/73	06/11/73
	03/25/72	04/10/72	04/18/10	05/25/77	06/12/73
	04/01/72	04/10/10	05/02/73	05/30/72	06/18/73
	04/04/72	04/13/72	05/03/72	06/02/72	06/22/76
	04/05/72	04/14/72	05/04/73	06/02/88	06/25/76
	04/08/72	04/17/72	05/07/73	06/07/72	07/03/89
	04/08/08	04/20/72	05/11/72	06/09/77	
DP <sup>3</sup> (plt ha <sup>-1</sup> )	30,000	40,000	50,000	65,000	80,000
	32,500	43,000	57,500	67,000	82,600
	34,000	45,000	60,000	75,000	
	35,000	47,500	62,000	76,250	
CS <sup>4</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	10	13.5	19	23	28
	11	15	20	24	30
	13	16	21	25	38
DF <sup>5</sup> NPK (kg ha <sup>-1</sup> )	00-20-00	140.5-25.5-25.5	39-50-00	60-40-00	90-00-00
	00-25-00	144-83-00	40-00-00	60-60-00	90-30-00
	101-23-30	150-50-00	40-25-00	72-92-00	90-40-00
	110-46-30	150-60-00	40-50-00	80-25-00	90-60-00
	120-30-00	151-92-00	55-71-00	80-40-00	
	120-50-00	30-00-00	60-20-00	80-50-00	
	120-60-00	30-20-00	60-30-00	80-60-00	
	120-90-00	30-40-00	60-34-00	80-75-00	
FC <sup>6</sup> (MD/A)	09/21/72	10/18/72	10/25/72	11/04/73	11/25/10
	10/04/73	10/18/88	10/27/72	11/05/73	11/28/90
	10/05/72	10/19/88	10/28/73	11/06/72	11/30/10
	10/10/72	10/21/72	10/29/72	11/06/73	12/04/77
	10/10/73	10/22/72	10/31/72	11/15/89	12/20/76
	10/11/72	10/23/72	11/01/72	11/16/77	12/21/76
	10/12/73	10/24/72	11/03/72	11/18/08	

<sup>1</sup>Tipo de semilla, <sup>2</sup>Fecha de siembra, <sup>3</sup>Densidad de plantas, <sup>4</sup>Cantidad semilla, <sup>5</sup>Dosis de fertilización y <sup>6</sup>Fecha de cosecha.

Para valorar la confiabilidad de los datos reportados por PROMAF se llevaron a cabo encuestas a productores bajo un formulario diseñado exprofeso (Anexo 4).

## 6.9. Integración de bases de datos

### a) Datos de identificación de la zona de estudio

Para la versión MSDOS, los datos de identificación de las parcelas se ingresaron desde la interfaz del propio modelo, creando un archivo independiente para cada parcela, cuya nomenclatura indicara el número de esta (Figura 14).

```

C013MZ11.dat Trabajo de investigación - Parcela1 Acambay, Méx. 21:05 11dec13
Ejercicio de uso de EPIC Acambay Pl Lat. 19.991 Elev. 2797 m
Calibración de parcelas PROMAF 2010 (Parcela 1, Dongu) Acambay
12010 1 1 51 123 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0
1.00 78.0 .10 .0010 .0250 .0900 1.0 19.99 2797.0 0.000
0.000 50.000 387.0 .300
100.0 .0400 .60 2.00
100.0 150.0 10.0 .0
15.40 16.00 18.10 19.70 20.30 18.50 16.50 16.70 16.40 16.80 16.50 15.20
4.10 4.50 5.90 7.50 8.40 8.20 8.00 8.00 7.50 6.60 5.40 4.90
2.70 3.30 3.40 3.30 3.40 3.30 2.90 2.60 3.20 3.10 2.70 2.70
1.70 1.70 2.00 1.70 1.70 1.40 1.00 1.20 1.60 1.00 1.50 1.50
10.0 13.5 10.6 19.6 53.5 121.7 169.5 150.0 116.6 78.5 11.9 15.8
9.0 3.7 5.5 4.5 6.6 9.8 9.3 8.5 10.4 9.5 3.8 4.9
2.09 1.73 2.08 1.79 1.84 1.90 1.66 1.29 2.13 2.03 1.49 1.01
.049 .097 .071 .092 .216 .259 .430 .372 .262 .179 .081 .075
.371 .279 .262 .467 .395 .609 .616 .606 .596 .508 .218 .402
2.30 3.40 2.70 4.40 8.20 12.00 16.40 15.10 11.80 8.30 2.80 3.50
48.4 24.6 32.4 70.5 57.0 48.5 56.7 55.8 60.9 42.5 52.4 36.1
16. 19. 20. 19. 20. 19. 19. 17. 17. 16. 15.
util2092:epic line: 1 file:c013mz11.dat
1 title(1) - Description of dataset
character field
?ihelp 2?ianlyz 3?lexit 4?isave 5?ilinedt 6?istat 7?iautoe 8?iquit 9?ilstc 10?icomnds
  
```

Figura 14. Datos de identificación por parcela en la versión MSDOS.

Los datos generales de la zona de estudio, necesarios para WinEPIC, se concentraron en una base de datos de Access (MX TEX.mdb y. MX CENTRAL mdb) en la que se ingresaron los datos generales de la misma: país, estado, límites geográficos (latitud y longitud), nombre de los productores y datos generales por parcela (nombre, latitud, longitud, altitud y régimen de humedad). Se crearon claves para identificar la información y facilitar la interpretación de los resultados de cada parcela (Ver Anexo 2).

### b) Información climática

Se estructuraron las bases de datos diarios de las parcelas estudiadas con sus variables climáticas correspondientes: radiación solar (ly), temperatura máxima y mínima (°C), precipitación (mm), humedad relativa (%) y velocidad de viento (m s<sup>-1</sup>).

En la versión MSDOS de EPIC, la entrada de los datos de clima se hizo a partir de archivos de texto (\*.txt), uno por estación meteorológica, desde un bloc de notas y delimitados por tabulaciones. Por otro lado, en WinEPIC los datos climáticos se integraron con ayuda del software *Weather Import*, el cual facilitó el formato de entrada requerido por el modelo (\*.dly), la clave de la parcela y la identificación de posibles errores en los valores ingresados (Figura 15).



**Figura 15.** Interfaz del programa para la edición de archivos de clima (\*.dly) en WinEPIC.

Las bases de datos se ubicaron en las carpetas del modelo para su ejecución (Cuadro 13). Como puede notarse, en las dos versiones utilizadas difiere la nomenclatura para la identificación de los archivos (número de dígitos que lo conforman) y su ruta de ubicación.

**Cuadro 13.** Archivos de clima usados por parcela.

Sitio	Estación	Archivo (.dly)		Sitio	Estación	Archivo (.dly)	
		MSDOS <sup>1</sup>	WinEPIC <sup>2</sup>			MSDOS	WinEPIC
1	MX Amecameca	ECN4	MX1509419	35	MX Nativitas II	STJA82a	MX1517035
2	MX Amecameca II	ECN5	MX1510302	36	MX Papalotla	ABA236	MX1513836
3	MX Amecameca III	ECN7	MX1500703	37	MX Papalotla II	ABA708	MX1513837
4	MX Amecameca IV	ECN6	MX1500704	38	MX San Dieguito	STJA82b	MX1517038
5	MX Chalco	ECN23	MX1502005	39	MX Tecamac	MGM90	MX1509039
6	MX Chalco II	ECN25	MX1502006	40	MX Tecamac II	OAG89	MX1509040
7	MX Chicoloapan	ABA702	MX1516707	41	MX Tenango del Aire	ECN18	MX1509441
8	MX Chiconcuac	ABA709	MX1513808	42	MX Tenango del Aire II	ECN22	MX1500742
9	MX Chiconcuac II	ABA237	MX1513809	43	MX Tenango del Aire III	ECN21	MX1509443
10	MX Chimalhuacán	ABA703	MX1516710	44	MX Tezoyuca	ABA238	MX1512444
11	MX Coatlinchán	ABA233	MX1516711	45	MX Tezoyuca II	ABA710	MX1512445
12	MX Coatlinchán II	ABA704	MX1516712	46	MX Tlalmanalco	ECN2	MX1510646
13	MX Cocotitlán	ECN20	MX1502013	47	MX Tlalmanalco II	ECN1	MX1510647
14	MX Cocotitlán II	ECN10	MX1502014	48	MX Tlalmanalco III	ECN3	MX1510648
15	MX Cocotitlán III	ECN9	MX1502015	49	MX Totolzingo	ABA239	MX1512449
16	MX Cocotitlán IV	ECN11	MX1502016	50	MX Xaltepa	ABA234	MX1517050
17	MX Colonia	ABA707	MX1517017	51	MX Parcela 51	MX150001	MX1501
18	MX INIFAP	GGJ92	MX1500018	52	MX Parcela 52	MX150002	MX1502
19	MX Juchitepec	ECN14	MX1509419	53	MX Parcela 53	MX150003	MX1503
20	MX Juchitepec I	ECN15	MX1503920	54	MX Parcela 54	MX150004	MX1504

Cuadro 13. Continuación...

21	MX Juchitepec II	ECN17	MX1503921	55	MX Parcela 55	MX150005	MX1505
22	MX Juchitepec III	ECN13	MX1509422	56	MX Parcela 56	MX150006	MX1506
23	MX Loma de Guadalupe	ABA231	MX1516723	57	MX Parcela 57	MX150007	MX1507
24	MX Lomas de Guadalupe II	ABA701	MX1516724	58	MX Parcela 58	MX150008	MX1508
25	MX Lomas de San Juan	TCA78a	MX1517025	59	MX Parcela 59	MX150009	MX1509
26	MX Lomas de San Juan II	ZZ684	MX1517026	60	MX Parcela 60	MX150010	MX1510
27	MX Lomas de San Juan III	CDJS82	MX1517027	61	MX Parcela 61	MX150011	MX1511
28	MX Lomas de San Juan IV	RBJD87a	MX1517028	62	MX Parcela 62	MX150012	MX1512
29	MX Lomas de San Juan V	VRE88	MX1517029	63	MX Parcela 63	MX150013	MX1513
30	MX Lomas de San Juan VI	MDR92	MX1517030	64	MX Parcela 64	MX150014	MX1514
31	MX Lomas de San Juan VII	RFJF79a	MX1517031	65	MX Parcela 65	MX150015	MX1515
32	MX Lomas de San Juan VIII	ATOJ78a	MX1517032	66	MX Parcela 66	MX150016	MX1516
33	MX Montecillo CP	VFEH93	MX1500033				
34	MX Nativitas	ABA235	MX1517034	67	MX Parcela 67	MX150017	MX1517

<sup>1</sup>Ruta de ubicación de archivos en MSDOS: C: \EPIC5300, <sup>2</sup> Ruta de ubicación de archivos en WinEPIC: C:\WinEPIC\ EPIC\MX TEX.mdb/Weather list y C:\WinEPIC\EPIC\ MX CENTRAL.mdb/Weather list.

### c) Información de suelos

El ingreso de la información de suelos, de cada parcela, fue según las variables requeridas para las versiones analizadas (Cuadro 14). En el caso de WinEPIC la clave de identificación de los suelos, para ser leídos desde la base de datos de Microsoft Access (\*.mdb), la asigna el modelo de manera automática.

Cuadro 14. Datos de entrada de suelos requeridos en WinEPIC.

Variable	Descripción	Unidad	Rango
<b>FIPS</b>	Código correspondiente al país y conjunto de suelos		
<b>MUSYM</b>	Símbolo de la unidad de suelo		
<b>CAPA</b>	Número de capa del suelo		
<b>SALB</b>	Albedo del suelo		
<b>Z</b>	Profundidad de la superficie al fondo de la capa del suelo	m	1 - 10
<b>BD</b>	Densidad aparente (húmedo)	g cm <sup>-3</sup>	0 - 2.3
<b>SAN</b>	Contenido de arena	%	0 - 100
<b>SIL</b>	Contenido de limo	%	0 - 100
<b>PH</b>	pH del suelo		0 - 9
<b>CBN</b>	Concentración de carbono orgánico	%	0 - 10
<b>CEC</b>	Capacidad de intercambio catiónico	cmol kg <sup>-1</sup>	0 - 150
<b>SC</b>	Conductividad a saturación	mm h <sup>-1</sup>	0 - 50

La valoración de algunas propiedades físicas de los suelos se realizó a partir del contenido de arena y arcilla (%), usando el triángulo de texturas de la Universidad de Alberta Canada<sup>5</sup>. Del triángulo se estimaron los datos de densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>), conductividad hidráulica a saturación (cm hr<sup>-1</sup>), capacidad de campo (m m<sup>-1</sup>), punto de marchitez permanente (m m<sup>-1</sup>) y disponibilidad de agua para la planta (cm<sup>3</sup> de agua/

<sup>5</sup> Soil Hydraulic Properties Calculator Work Table. University of Alberta, Canada [En línea]. Disponible en: [http://www.pedosphere.com/resources/texture/worktable\\_us.cfm](http://www.pedosphere.com/resources/texture/worktable_us.cfm). (consultado el 04 de Agosto de 2013).

cm<sup>3</sup> de suelo). En la versión para MSDOS los datos del suelo se ingresaron desde la ventana a de edición del modelo, correspondiente al archivo de cada parcela, como se muestra en la Figura 16.

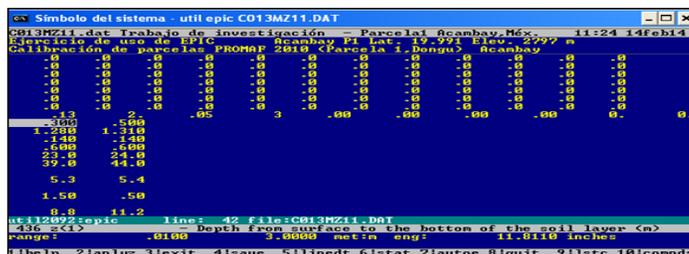


Figura 16. Datos de suelo en la versión MSDOS del modelo.

La edición de la información por capa de suelo, se realizó desde la interfaz del modelo (Figura 17), en el cual se ingresaron las variables requeridas.

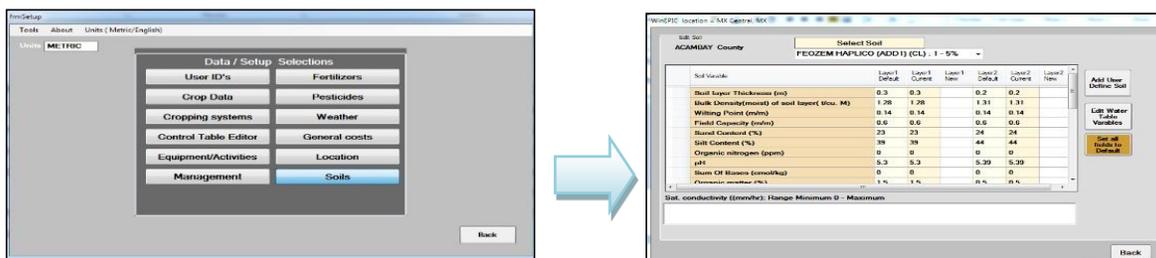


Figura 17. Archivo de suelos en WinEPIC.

#### d) Parámetros fisiotécnicos del maíz

En el caso de la versión MSDOS la información referente al cultivo se capturó desde un bloc de notas (\*.dat) y su edición se realizó desde la interfaz del modelo (UTIL EPIC) como se observa en la Figura 18.

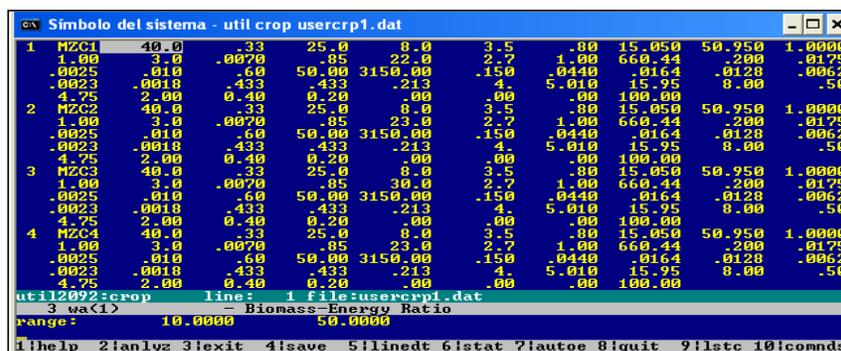


Figura 18. Parámetros fisiotécnicos del cultivo en la versión MSDOS.

La información del cultivo de maíz requerida por el modelo (parámetros fisiotécnicos), se ingresó desde la interfaz de WinEPIC (Figura 19).

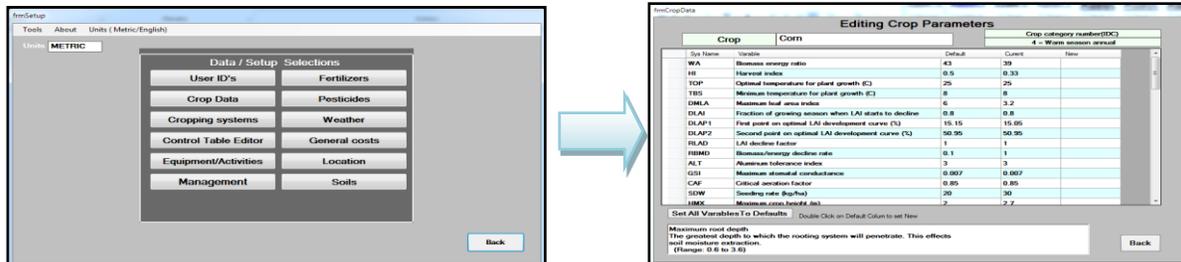


Figura 19. Interfaz de WinEPIC para el ingreso de parámetros fisiotécnicos del cultivo.

### e) Manejo de cultivo

La información de manejo del cultivo, para las parcelas estudiadas, fue ingresada al modelo, en su versión MSDOS, indicando en el bucle correspondiente la fecha en que se realizó una práctica agrícola específica o la aplicación de un insumo (Figura 20).



Figura 20. Datos de manejo de maíz desde la interfaz de MSDOS.

En el caso de WinEPIC, se ingresó la información de manejo del cultivo disponible desde la interfaz del modelo (Figura 21).

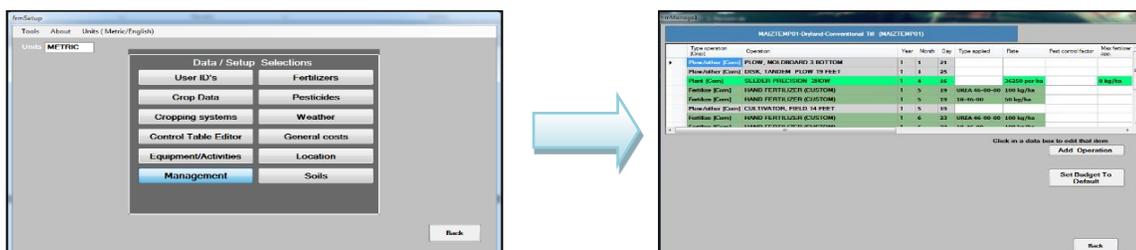


Figura 21. Edición de información de manejo por parcela de maíz en WinEPIC.

## 6.10. Ajuste de parámetros

En la etapa de ajuste de parámetros del cultivo en WinEPIC se utilizaron las parcelas productoras de maíz identificadas en la zona de estudio considerando su distribución espacial (Anexo 3). Se revisaron los parámetros del cultivo, entre ellos: factor de conversión biomasa- energía (WA), índice de cosecha (IC), índice de área foliar máxima potencial (DMLA), altura máxima del cultivo (HMX) y profundidad máxima de raíz (RDMX). Para ajustar las variables fisiotécnicas de mayor sensibilidad (WA, IC, DMLA, HMX, RDMX) se realizaron corridas realizando corridas modificando el valor de cada una de estas variables en un rango de  $\pm 10\%$  de los valores de referencia para la versión de MSDOS (Cuadro 15). El valor óptimo de cada variable se obtuvo considerando la menor diferencia entre los rendimientos simulados (RS) con WinEPIC y los rendimientos de maíz observados (RO).

**Cuadro 15.** Parámetros relacionados con los rendimientos usados para el cultivo de maíz.

Variable	Definición	MSDOS	WINEPIC
WA	Relación biomasa energía (kg ha <sup>-1</sup> MJ)	40	39
HI	Índice de cosecha (Adimensional)	0.33	0.33
DMLA	Índice de área foliar máximo (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	3.5	3.2
HMX	Altura máxima del cultivo (m)	2.7	2.7
RDMX	Profundidad máxima de raíces (m)	1	1.1

## 6.11. Comparación de versiones del modelo EPIC

Con la finalidad de conocer el funcionamiento de la nueva versión del modelo EPIC se realizó la comparación de los resultados de rendimientos de ambas versiones del EPIC. Se empleó la información de 276 parcelas productoras de maíz ubicadas en la zona oriente y norponiente que sirvieron para alimentar las dos versiones del modelo (Cuadro 16). La información de suelos y manejo del cultivo de maíz por parcela empleada en esta etapa se muestran en el Anexo 6.

**Cuadro 16.** Localización de los sitios con diferentes parcelas productoras de maíz analizadas.

Zona <sup>1</sup>	Nombre	Grados		Elevación m	Estación climática	Suelos	Autores/Localidad
		Latitud	Longitud				
I	Amecameca I	19.108	-98.767	2479	MX1509419	Amecameca I	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Amecameca II	19.094	-98.744	2479	MX1510302	Amecameca II	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Amecameca III	19.138	-98.771	2479	MX1500703	Amecameca III	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Amecameca IV	19.156	-98.776	2479	MX1500704	Amecameca IV	Estrella (1973) and Peña (1973)

Cuadro 16. Continuación...

I	Chalco I	19.229	-98.892	2243	MX1502005	Chalco I	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Chalco II	19.225	-98.917	2243	MX1502006	Chalco II	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Chicoloapan	19.4	-98.95	2260	MX1516707	Chicoloapan	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Chiconcuac I	19.551	-98.909	2240	MX1513808	Chiconcuac I	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Chiconcuac II	19.55	-98.908	2240	MX1513809	Chiconcuac II	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Chimalhuacán	19.4	-98.933	2240	MX1516710	Chimalhuacán	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Coatlinchán I	19.467	-98.858	2300	MX1516711	Coatlinchán I	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Coatlinchán II	19.468	-98.859	2300	MX1516712	Coatlinchán II	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Cocotitlán I	19.225	-98.875	2250	MX1502013	Cocotitlán I	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Cocotitlán II	19.229	-98.829	2250	MX1502014	Cocotitlán II	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Cocotitlán III	19.233	-98.854	2250	MX1502015	Cocotitlán III	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Colonia	19.492	-98.833	2380	MX1517017	Colonia	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	INIFAP, Chapingo	19.283	-98.883	2248	MX1500018	INIFAP, Chapingo	González and Zúñiga (1992)
I	Juchitepec I	19.131	-98.838	2306	MX1509419	Juchitepec I	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Juchitepec II	19.101	-98.869	2306	MX1503920	Juchitepec II	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Juchitepec III	19.125	-98.871	2306	MX1503921	Juchitepec III	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Juchitepec IV	19.121	-98.842	2306	MX1509422	Juchitepec IV	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Loma de Guadalupe I	19.4	-98.958	2280	MX1516723	Loma de Guadalupe I	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Loma de Guadalupe II	19.401	-98.959	2280	MX1517012	Loma de Guadalupe II	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Lomas de S.J. Chapingo I	19.533	-98.858	2300	MX1517025	Lomas de S.J. Chapingo I	Trueba (1978)
I	Lomas de S.J. Chapingo II	19.534	-98.857	2300	MX1517026	Lomas de S.J. Chapingo II	Zazueta (1984)
I	Lomas de S.J. Chapingo III	19.535	-98.856	2300	MX1517027	Lomas de S.J. Chapingo III	Campos de Jesús (1982)
I	Lomas de S.J. Chapingo IV	19.536	-98.855	2300	MX1517028	Lomas de S.J. Chapingo IV	Ríos (1987)
I	Lomas de S.J. Chapingo VII	19.538	-98.853	2300	MX1517031	Lomas de S.J. Chapingo VII	Ruiz (1979)
I	Lomas de S.J. Chapingo VII	19.539	-98.852	2300	MX1517032	Lomas de S.J. Chapingo VII	Antezana (1978)
I	Montecillo, CP.	19.483	-98.9	2240	MX1500033	Montecillo, CP.	Veliz (1993)
I	Nativitas I	19.5	-98.842	2360	MX1517034	Nativitas I	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Papalotla I	19.558	-98.842	2270	MX1513836	Papalotla I	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Papalotla II	19.559	-98.843	2270	MX1513837	Papalotla II	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Tecamac, CP I	19.717	-98.95	2460	MX1509039	Tecamac, CP I	Mora (1990)
I	Tecamac, CP II	19.718	-98.951	2460	MX1509040	Tecamac, CP II	Osorio (1989)
I	Tenango del Aire I	19.139	-98.854	2400	MX1509441	Tenango del Aire I	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Tenango del Aire II	19.094	-98.806	2400	MX1500742	Tenango del Aire II	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Tenango del Aire III	19.122	-98.856	2400	MX1509443	Tenango del Aire III	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Tezoyuca I	19.6	-98.925	2250	MX1512444	Tezoyuca I	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Tezoyuca II	19.601	-98.926	2250	MX1512445	Tezoyuca II	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Tlamanalco I	19.203	-98.767	2389	MX1510646	Tlamanalco I	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Tlamanalco II	19.189	-98.778	2389	MX1510647	Tlamanalco II	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Tlamanalco III	19.192	-98.765	2389	MX1510648	Tlamanalco III	Estrella (1973) and Peña (1973)
I	Totolzingo	19.625	-98.958	2260	MX1512449	Totolzingo	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
I	Xaltepa	19.492	-98.858	2300	MX1517050	Xaltepa	Alvarado (1975) and Ortiz (1974)
II	Parcela 51	19.991	-99.868	2797	MX1501	Parcela 51	Dongu (2010)
II	Parcela 52	20.003	-99.879	2652	MX1502	Parcela 52	La Florida (2010)
II	Parcela 53	19.902	-99.873	2521	MX1503	Parcela 53	San Pedro de los Metates (2010)
II	Parcela 54	19.97	-99.954	2589	MX1504	Parcela 54	Doxteje (2010)
II	Parcela 55	19.901	-99.861	2520	MX1505	Parcela 55	San Pedro de los Metates (2010)
II	Parcela 56	19.909	-99.867	2520	MX1506	Parcela 56	San Pedro de los Metates (2010)
II	Parcela 57	19.885	-99.857	2588	MX1507	Parcela 57	San Pedro de los Metates (2008)
II	Parcela 58	19.907	-99.855	2518	MX1508	Parcela 58	San Pedro de los Metates (2008)
II	Parcela 59	19.935	-99.91	2520	MX1509	Parcela 59	Pueblo Nuevo (2008)
II	Parcela 60	19.957	-99.899	2519	MX1510	Parcela 60	Pueblo Nuevo (2008)
II	Parcela 61	19.917	-99.862	2506	MX1511	Parcela 61	San Pedro de los Metates (2008)
II	Parcela 62	19.91	-99.878	2519	MX1512	Parcela 62	Pueblo Nuevo (2008)
II	Parcela 63	19.907	-99.901	2507	MX1513	Parcela 63	Pueblo Nuevo (2008)
II	Parcela 64	19.907	-99.862	2520	MX1514	Parcela 64	San Pedro de los Metates (2010)
II	Parcela 65	19.902	-99.86	2518	MX1515	Parcela 65	San Pedro de los Metates (2010)
II	Parcela 66	19.905	-99.851	2526	MX1516	Parcela 66	San Pedro de los Metates (2007)
II	Parcela 67	19.904	-99.866	2539	MX1517	Parcela 67	San Pedro de los Metates (2007)

<sup>1</sup> I= Zona oriente, II=Zona norponiente.

Los parámetros fisiotécnicos del maíz empleados en MSDOS y WinEPIC se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Datos del cultivo de maíz usados en la simulación.

Variable	Definición	Unidades	MSDOS	WinEPIC
WA	Relación biomasa energía (Para CO <sub>2</sub> = 330 ppm)	kg ha <sup>-1</sup> MJ	40	39
HI	Índice de cosecha	Adimensional	0.33	0.33
TOP	Temperatura óptima o base para el crecimiento de la planta	°C	25	25
TBS	Temperatura mínima para el crecimiento de la planta	°C	8	8
DMLA	Índice de área foliar máximo	m <sup>2</sup>	3.5	3.2
DLAI	Fracción de la estación de crecimiento cuando LAI comienza a declinar		0.8	0.8
DLAP1	Curva de crecimiento del área foliar, primer punto		15.05	15.05
DLAP2	Curva de crecimiento del área foliar, segundo punto		50.95	50.95
RLAD	Parámetro de declinación del LAI		1	1

Cuadro 17. Continuación...

RBMD	Parámetro de declinación de conversión biomasa- energía		1	1
ALT	Tolerancia al aluminio		3	3
GSI	Conductancia estomatal máxima	ms <sup>-1</sup>	0.007	0.007
CAF	Factor de aireación crítica		0.85	0.85
SDW	Kilogramos de semilla por parcela	kg ha <sup>-1</sup>	20	20
HMX	Altura máxima del cultivo	m	2.7	2.7
RDMX	Profundidad máxima de enraizamiento	m	1	1.1
WAC2L	Concentración más alta de CO <sub>2</sub> en la atmósfera	ppm	660.44	660
WAC2	Corresponde al valor de tasa de conversión biomasa- energía			4485
CNY	Fracción normal de nitrógeno en el rendimiento	g g <sup>-1</sup>	0.0175	0.0175
CPY	Fracción normal de fósforo en el rendimiento	g g <sup>-1</sup>	0.0025	0.0025
CKY	Fracción normal de potasio en el rendimiento	g g <sup>-1</sup>	-----	0.0032
WSYF	Coefficiente de sensibilidad de rendimiento del cultivo al estrés hídrico en su etapa más crítica de desarrollo		0.01	0.01
PST	Factor de daño ocasionado por plagas(insectos, malezas y enfermedades)		0.6	0.6
WCY	Contenido de agua en el rendimiento		0.15	0.15
BN1	Fracción de nitrógeno en diferentes etapas del cultivo (Emergencia)		0.044	0.044
BN2	Madurez		0.0164	0.0164
BN3	Senescencia		0.0128	0.0128
BP1	Fracción de fósforo en diferentes etapas del cultivo (Emergencia)		0.0062	0.0062
BP2	Madurez		0.0023	0.0023
BP3	Senescencia		0.0018	0.0018
BW1	Factor de erosión eólica por tipo de residuo (emergencia)		0.433	0.433
BW2	Madurez		0.433	0.433
BW3	Senescencia		0.213	0.213
FRST1L	Curva de daño por heladas ( 1er temperatura mínima)	°C	5.01	5
FRST1R	Fracción de pérdida de biomasa por día por temperatura mínima		-----	0.15
FRST2L	Curva de daño por heladas (2da temperatura mínima)	°C	15.95	16
FRST2R	Fracción de pérdida de biomasa por día por temperatura mínima		-----	0.2
WAVP	Declinación de la eficiencia del uso de la radiación con el déficit de presión de vapor		8	8
VPD2	Valor de déficit de presión de vapor	kPa	4.75	4.75
GMHU	Unidades calor requeridas para la germinación	°C	100	100
PPLP1L	Densidad de plantas	plt m <sup>-2</sup>	-----	4
PPLP1R	Primera fracción del índice de área foliar máximo (LAI)		-----	0.47
PPLP2L	Curva de LAI en la densidad de plantas (segundo punto)		-----	7
PPLP2R	Segunda fracción del índice de área foliar máximo (LAI)		-----	0.77
STX1	Relación de rendimiento/ salinidad		-----	0.12
STX2	Valor de Salinidad		-----	1.7
BLG1	Fracción de lignina en la planta a 0.5 de madurez		-----	0.01
BLG2	Fracción de lignina en la planta a madurez		-----	0.1
EXTC	Coefficiente de extinción de luz			0.65

Una vez recopilada la información e ingresada a las versiones del modelo empleadas, se realizó la simulación en cada parcela. Posteriormente, de acuerdo a las diferencias entre rendimientos de maíz observados y simulados, entre ambas versiones, se eliminó el 33% de los datos con mayores diferencias absolutas (atípicos); es decir aquellos con  $\pm 1.0$  desviación estándar ( $\sigma$ ) a partir de la media ( $\mu$ ); para el análisis final se consideraron 184 parcelas (67%).

Para evaluar la eficiencia de la predicción de ambas versiones del modelo, se usaron los siguientes índices:

**a) Coeficiente de determinación ( $r^2$ ):** describe la variación de los datos observados por el modelo, oscila de 0 a 1, los valores superiores a 0.5 se consideran aceptables, ya que indican una menor varianza del error (Shanti *et al.*, 2001; Van Liew *et al.*, 2003).

Se considera un buen estimador de la eficiencia de la predicción pero muestra una alta sensibilidad para valores extremos, lo cual no permite tener un estimador robusto de la eficiencia de la predicción de los modelos, se calcula con la ecuación 1:

$$r^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - \bar{y}^{obs})(y_i^{sim} - \bar{y}^{sim})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - \bar{y}^{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{sim} - \bar{y}^{sim})^2}} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:  $y_i^{obs}$  es el rendimiento observado,  $y_i^{sim}$  es rendimiento simulado,  $\bar{y}^{obs}$  corresponde a rendimiento medio observado,  $\bar{y}^{sim}$  es rendimiento medio simulado y  $n$  es el número total del observaciones (Krause *et al.*, 2005).

**b) Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE):** es una estadística normalizada que determina la magnitud relativa de la varianza residual comparada con la varianza de los datos medidos (Nash y Sutcliffe, 1970). Se ha usado en la valoración de la eficiencia de predicción de modelos hidrológicos y, a pesar que presenta una estructura de cálculo similar a la empleada en el coeficiente de determinación, elimina el ruido en la varianza ocasionado por los valores extremos, el cual se calcula con la ecuación 2:

$$NSE = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - \bar{y})^2} \right) \quad (2)$$

Donde:  $y_i^{obs}$ , corresponde al rendimiento observado,  $y_i^{sim}$  es rendimiento simulado por el modelo,  $\bar{y}$  corresponde a rendimiento medio observado y  $n$  es el número total del observaciones.

NSE varía de  $-\infty$  a 1, donde NS=1 es el valor óptimo que indicaría un ajuste perfecto. Si es cero el error es del mismo orden de magnitud que la varianza de los datos observados; por lo que la media de los datos observados tendrá una capacidad de predicción similar al modelo. Los valores entre 0 y 1 son aceptables ya que indican una mejor predicción por parte del modelo de los valores observados. (Moriasi *et al.*, 2007).

**c) Sesgo porcentual (PBIAS):** proporciona información sobre la tendencia del modelo a sobreestimar (valores negativos) o subestimar (valores positivos) la variable de interés (Gupta *et al.*, 1999). El PBIAS se calculó de acuerdo con la siguiente relación:

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim}) * (100)}{\sum_{i=1}^n y_i^{obs}} \right] \quad (3)$$

Donde: PBIAS es la desviación de los datos evaluados (%),  $y_i^{obs}$  y  $y_i^{sim}$  corresponden al rendimiento observado y simulado por el modelo respectivamente y  $n$  corresponde el número total de observaciones.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado se revisan los sistemas de producción de maíz y rendimientos observados por zona, los cuales fueron utilizados para la simulación en las dos versiones de EPIC (MSDOS y WinEPIC). También se realiza un análisis, de la simulación de rendimientos por versión, mediante una comparación entre los rendimientos observados y simulados para la estimación de rendimientos de maíz. Asimismo, se efectúa un análisis, para cada versión de EPIC, del efecto de los estreses, la profundidad y la pendiente en el rendimiento.

### 7.1. Análisis de los sistemas de producción en zona oriente

En la zona oriente, la preparación del terreno es de tipo mecánico, consiste principalmente en realizar un barbecho, rastreo y surcado. Las fechas de siembra del maíz se realizan en los meses de mayo a junio, una vez establecido el período de lluvias (temporal) de forma mecánica, con una densidad de siembra de 50,000 a 82,600 planta ha<sup>-1</sup>, el tipo de semilla empleada son materiales criollos e híbridos como el H-28, H-30, H-32 y H-129 para la producción de grano en Valles Altos (Cuadro 18).

**Cuadro 18.** Datos de manejo del cultivo de maíz en parcelas de la zona Oriente.

Variable	Descripción				
	H-129 Criollo	H-28 H-149	H-28	H-32 H-30	H-32
FS <sup>2</sup> (MD/A)	03/24/72	04/09/90	05/02/73	05/25/77	06/11/73
	03/25/72	04/10/72	05/03/72	05/30/72	06/12/73
	04/01/72	04/13/72	05/04/73	06/02/72	06/18/73
	04/04/72	04/14/72	05/07/73	06/02/88	06/22/76
	04/05/72	04/17/72	05/11/72	06/07/72	06/25/76
	04/08/72	04/20/72	05/21/73	06/09/77	07/03/89
DP <sup>3</sup> (plt ha <sup>-1</sup> )	30,000	40,000	50,000	65,000	80,000
	34,000	43,000	60,000	67,000	82,600
	35,000	45,000	62,000	75,000	
CS <sup>4</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	10	13	15	19	21
	11	13.5	16	20	24
					25
DF <sup>5</sup> NPK (kg ha <sup>-1</sup> )	00-20-00	150-50-00	40-25-00	60-60-00	90-00-00
	00-25-00	150-60-00	40-50-00	72-92-00	90-30-00
	120-30-00	30-00-00	55-71-00	80-25-00	90-40-00
	120-50-00	30-20-00	60-20-00	80-40-00	90-60-00
	120-60-00	30-40-00	60-30-00	80-50-00	
	120-90-00	39-50-00	60-34-00	80-60-00	
	144-83-00	40-00-00	60-40-00	80-75-00	

Cuadro 18. Continuación...

FC <sup>6</sup> (M/D/A)	09/21/72	10/12/73	10/23/72	10/31/72	11/06/73
	10/04/73	10/18/72	10/24/72	11/01/72	11/15/89
	10/05/72	10/18/88	10/25/72	11/03/72	11/16/77
	10/10/72	10/19/88	10/27/72	11/04/73	11/28/90
	10/10/73	10/21/72	10/28/73	11/05/73	12/04/77
	10/11/72	10/22/72	10/29/72	11/06/72	12/21/76

<sup>1</sup>Tipo de semilla, <sup>2</sup>Fecha de siembra, <sup>3</sup>Densidad de plantas, <sup>4</sup>Cantidad semilla, <sup>5</sup>Dosis de fertilización y <sup>6</sup>Fecha de cosecha.

En el caso de la fertilización, las principales fuentes aplicadas son: urea (46-00-00) y fosfato diamónico (18-46-00) como aportador de nitrógeno (N) y fósforo (P). La aplicación de la fertilización se realiza en la escarda, esta se lleva a cabo en los meses de junio a julio en forma mecánica o con yunta.

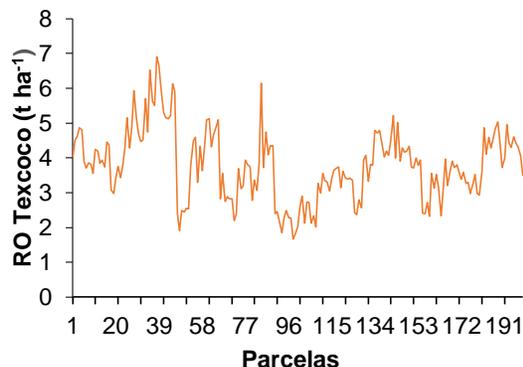
Con respecto al riego, la producción de maíz en esta zona se realiza bajo temporal limitado, no obstante, existen áreas con punta de riego (Soto y Mijares, 2007).

Las plagas que atacan al maíz en la zona oriente son el gusano cogollero y el gusano soldado, los cuales son controlados de forma química, sin embargo, algunos roedores como tuzas, ratas, ratón y ardilla también atacan al cultivo, los cuales son controlados con algún producto químico de recomendación técnica (Ramírez y Loza, 1986).

En el caso de las malezas como el pasto y el chayotillo, son un problema generalizado en las parcelas, se controlan de forma química, con el uso de herbicidas. La incidencia de enfermedades como el virus rayado y chahuixtle es menor, aunque de presentarse en la zona su control se realiza de forma química.

La cosecha se realiza de forma mecánica, en los meses de octubre y noviembre, cuyo destino de la producción, es la comercialización en las zonas aledañas a Texcoco.

Los rendimientos observados (RO) de maíz en 167 parcelas productoras en la zona oriente, presentaron un valor mínimo de 1.7 t ha<sup>-1</sup> y máximo de 6.9 t ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento promedio de 3.8 t ha<sup>-1</sup>, y un coeficiente de variación (CV) del 27% (Figura 22).



**Figura 22.** Rendimientos observados (RO) en parcelas productoras de maíz en la zona oriente.

## 7.2. Análisis de los sistemas de producción en zona norponiente

En el caso de la zona norponiente, la información de manejo de las parcelas de maíz de seguimiento dentro del PROMAF, para los años 2007, 2008 y 2010, fue verificada en campo, a través de encuestas con los productores de la zona. De manera general, la información reportada en PROMAF coincide con lo manifestado por los productores, de acuerdo con las actividades agrícolas realizadas para la producción de maíz.

La siembra se realiza en los meses de marzo y abril, de acuerdo al régimen de humedad (temporal o punta de riego), de forma manual, a base del uso de tracción animal en las parcelas ubicadas en la parte alta y ladera; mientras que en las partes planas se usan sembradoras mecánicas de precisión. La densidad de siembra en condiciones de temporal varía de 32,500 a 62,500 plantas ha<sup>-1</sup>, mientras que en punta de riego oscila entre 52,000 y 76,250 plantas ha<sup>-1</sup>. El tipo de semilla empleada por los productores es criolla en colores blanca y amarilla. Algunos productores, con tierras con “punta de riego”, utilizan híbridos de maíz como el H-30 y H-48.

**Cuadro 19.** Datos de manejo del cultivo de maíz en las parcelas analizadas.

Zona <sup>1</sup>	Clave	Ubicación	Modalidad	Tipo de semilla	Semilla	Fecha siembra	Densidad plantas	Fertilización N-P-K	Fecha de cosecha	Rend. Obs.
					kg ha <sup>-1</sup>	M/D/A	plantas ha <sup>-1</sup>		M/D/A	t ha <sup>-1</sup>
II	Parcela 51	Alta	Temporal	Criolla	22	04/16/10	36,250	119-69-00	11/15/10	4.90
II	Parcela 52	Alta	Temporal	Criolla Amarillo	23	04/15/10	32,500	151-92-00	11/25/10	3.50
II	Parcela 53	Baja	Temporal	Criolla Blanca	30	04/18/10	47,500	110-46-30	11/30/10	3.70
II	Parcela 54	Media	Temporal	Criolla	23	04/12/10	36,471	119-23-00	11/20/10	6.20
II	Parcela 55	Baja	Temporal	Criolla Amarilla	30	04/14/10	47,500	101-23-30	11/23/10	6.10
II	Parcela 56	Baja	Punta de riego	H-48	30	03/20/10	75,000	169-69-30	11/04/10	11.60
II	Parcela 57	Media	Temporal	Criolla	28	04/05/08	56,250	140.5-25.5-25.5	11/28/08	3.80
II	Parcela 58	Baja	Temporal	Criolla	20	03/07/08	40,000	140.5-25.5-25.5	11/30/08	2.80
II	Parcela 59	Baja	Temporal	Criolla	25	03/15/08	55,000	132-17-17	12/14/08	4.10
II	Parcela 60	Baja	Punta de riego	Criolla	38	04/08/08	76,250	140.5-25.5-25.5	11/18/08	4.00
II	Parcela 61	Baja	Punta de riego	Criolla	26	03/27/08	52,500	202-46-00	11/28/08	4.90
II	Parcela 62	Baja	Temporal	Criolla	31	03/26/08	62,500	155-17-17	11/16/08	5.50
II	Parcela 63	Baja	Temporal	Criolla	31	03/28/08	62,500	117.5-25.5-25.5	12/11/08	4.10
II	Parcela 64	Baja	Temporal	HC-8	28	04/10/10	57,500	101-23-30	11/25/10	7.30
II	Parcela 65	Baja	Temporal	Criolla	30	04/14/10	47,500	101-23-30	12/28/10	5.90
II	Parcela 66	Baja	Temporal	Criolla	30	05/07/07	73,529	114-115-60	11/29/07	6.04
II	Parcela 67	Baja	Temporal	Criolla	30	04/16/07	62,500	96-69-30	11/27/07	5.63

<sup>1</sup> Zona norponiente.

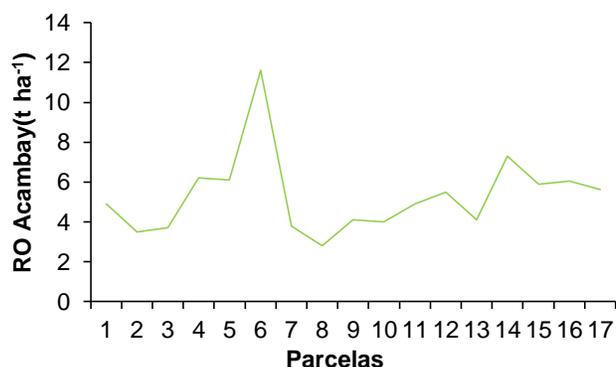
Las dosis de fertilización usadas tienen como fuentes principales la urea (46-00-00) como aportadora de nitrógeno (N), fosfato diamónico (18-46-00) como aportador de fósforo (P) y el cloruro de potasio (00-00-60) como fuente de potasio (K). Adicionalmente existen otras fuentes utilizadas como triple 17 (17-17-17) y compostas hechas a base de estiércol de ganado ovino y equino. Las dosis aplicadas en la siembra (marzo-abril) y en la 1ra o 2da escarda (junio) presentan mayor contenido de N, mientras que el P y K es aplicado en menor medida. La escarda se realiza de forma mecánica o con ayuda de tracción animal.

El riego es por inundación antes de la siembra para tener humedad disponible que permita el establecimiento del cultivo, conocidos como “punta de riego”. El agua para la producción agrícola proviene de pozos profundos en el valle de Acambay y de bordos de almacenamiento que suelen ser empleados en la época seca y para la siembra de forrajes de invierno como la avena. Las láminas de riego varían de 25 a 30 cm, a su vez pueden aplicarse riegos de auxilio, si la temporada de lluvias se retrasa, con la finalidad de no afectar el llenado de grano y mermar el rendimiento final de maíz.

Las principales malezas en el maíz son el chayotillo, pasto, espinal y coquillo, las cuales son eliminadas a través de un control químico empleando productos como hierbamina, gesaprim o gramoxone y esteron, o de tipo manual como el azadón.

La cosecha se realiza de forma manual en las parcelas donde la producción es para autoconsumo, mientras que en las partes planas se utilizan cosechadoras mecánicas, cuyo destino de la producción es la comercialización en Acambay y Atacomulco.

Los rendimientos de maíz observados, en 17 parcelas productoras de maíz, tuvieron un rendimiento máximo y mínimo observado de 2.8 t ha<sup>-1</sup> y 11.6 t ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 23) con un rendimiento promedio de 5.3 t ha<sup>-1</sup> y un CV del 37%.



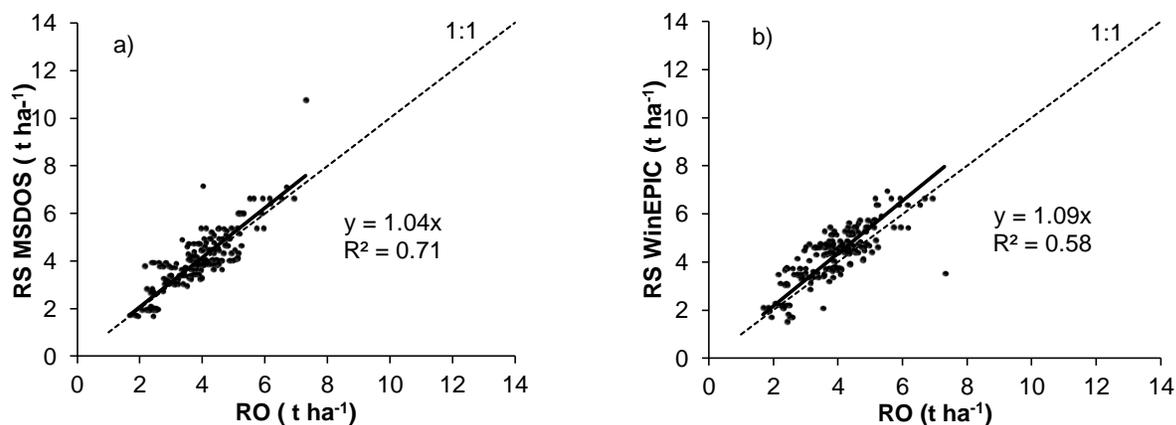
**Figura 23.** Rendimientos de maíz observados (RO) en la zona norponiente.

De acuerdo a los sistemas de producción presentes en las dos zonas, se observa una variación en tiempo, con respecto a fechas de siembra, cosecha y realización de las diferentes labores agrícolas; asimismo una diferencia en los rendimientos de maíz y número de parcelas observadas. De acuerdo a la información disponible, se concluyó que la información es útil, para usar el modelo EPIC en la simulación de rendimientos de maíz y explicar variaciones entre tipos de manejo.

### 7.3. Comparación de rendimientos

Los resultados de la simulación de rendimientos de maíz mostraron diferencias absolutas, entre los rendimientos observados (RO) y rendimientos simulados (RS), que oscilaron entre 0.01 a 3.5 t ha<sup>-1</sup>; con un RS medio de 4.0 t ha<sup>-1</sup> para MSDOS. Mientras que en WinEPIC estos rendimientos variaron de 0.1 a 3.8 t ha<sup>-1</sup>, con un RS promedio de 4.3 t ha<sup>-1</sup>.

El valor de  $r^2$  obtenido para la versión MSDOS fue de 0.71, valor superior al obtenido en WinEPIC, y una pendiente de la recta de 1.04 (Figura 24) que indica una sobreestimación del 4.0 % para los RO de maíz. En el caso de WinEPIC, se obtuvo un valor de  $r^2$  de 0.58 y una pendiente de la recta de regresión de 1.09; es decir, el modelo sobreestimó en un 9% los RO de maíz, valor al que contribuyen significativamente aquellas parcelas con menor profundidad. WinEPIC mostró ser sensible a la densidad de plantas, situación que no ocurre con la versión MSDOS, lo cual es un aspecto a favor de WinEPIC ya que Wang *et al.* (2011) considera la densidad de siembra como una variable significativa en el rendimiento del cultivo.



**Figura 24.** Relación entre rendimientos observados (RO) y simulados (RS) de maíz: a) simulación de rendimientos en MSDOS y b) simulación de rendimientos en WinEPIC.

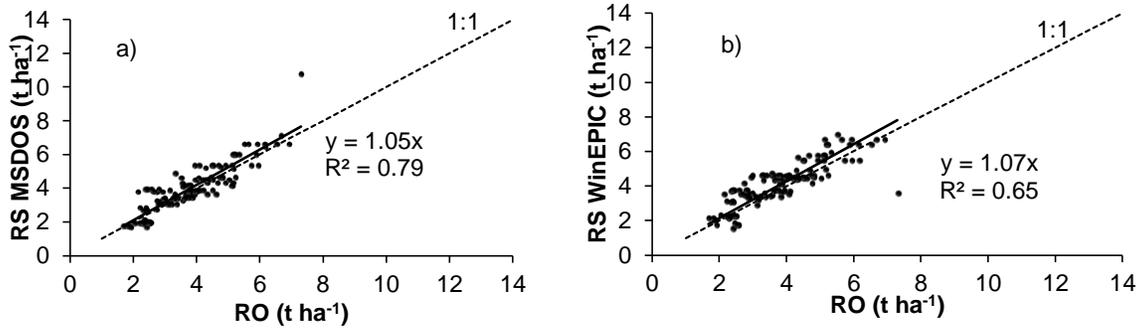
La versión de MSDOS modifica, a diferencia de WinEPIC, sustancialmente el rendimiento simulado (RS) con cambios en la profundidad del suelo. Esta respuesta de

la versión MSDOS, puede estar asociada a su imposibilidad de simular la densidad de siembra y a diferencias en las rutinas de distribución de agua en el perfil del suelo. Estos resultados son similares a lo reportado por Roloff *et al.* (1998), quienes señalan diferencias en la estimación del contenido de agua por el modelo a diferentes profundidades del suelo, con una sobreestimación del contenido de agua en los primeros 15 a 60 cm del perfil del suelo.

El valor de NSE para MSDOS fue de 0.58 y 0.40 para WinEPIC, ambos valores son mayores a 0 y se consideran aceptables, sin embargo, la versión MSDOS presentó una mejor eficiencia en la predicción de los rendimientos. En el caso de PBIAS la versión MSDOS sobrestimó los RS en un 4.3%, mientras que WinEPIC fue del 10.7%. De acuerdo con Wang *et al.* (2012) los valores de PBIAS para el rendimiento deben tener un valor de  $\leq 25\%$ , por lo tanto los valores de las versiones analizadas se encuentran en dicho rango, sin embargo, MSDOS presentó un menor sesgo en la estimación del rendimiento.

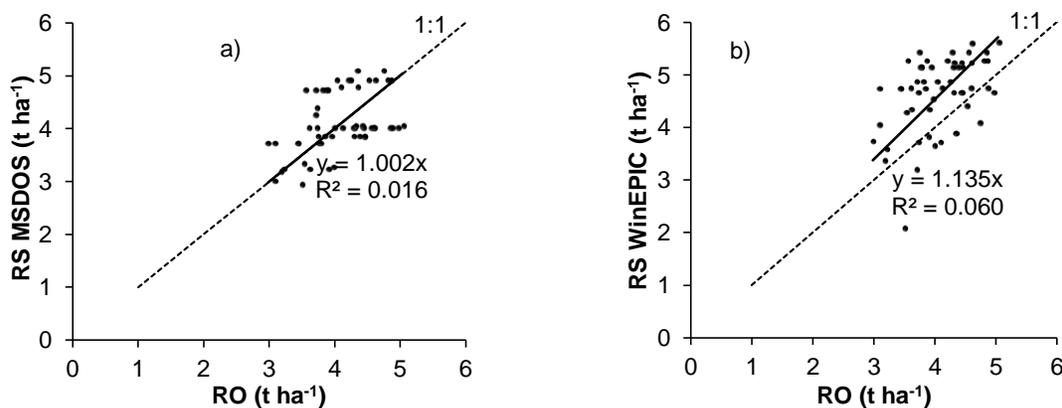
Los coeficientes de cultivos generalmente se ven influidos por las características morfológicas del cultivo, especialmente en los materiales criollos, donde su variabilidad genética se incrementa con la cercanía a sus centros de origen. Al analizar el comportamiento de los materiales criollos y los mejorados, ambas versiones muestran un mejor funcionamiento para los materiales mejorados, con valores de  $r^2$  aceptables; MSDOS presentó el mayor valor con 0.79, mientras que WinEPIC fue de 0.65 (Figura 25). Para este tipo de materiales, el valor de NSE para MSDOS fue de 0.69, valor superior al mostrado por la versión WinEPIC (0.57).

Las dos versiones del modelo muestran una sobrestimación del rendimiento, con valores de PBIAS de 5.2% y 8.8% para MSDOS y WinEPIC, respectivamente. La comparación estadística, entre ambas versiones, muestra que MSDOS presentó mayor potencial predictivo para estimar el rendimiento de maíces mejorados.



**Figura 25.** Comportamiento de rendimientos observados y simulados para materiales mejorados: a) simulación de rendimientos en MSDOS y b) simulación de rendimientos en WinEPIC.

En materiales criollos el potencial de predicción es más disperso, tal como lo muestran los coeficientes de determinación de 0.016 en MSDOS y 0.060 para WinEPIC, siendo WinEPIC la versión con el mejor valor de  $r^2$  (Figura 26). Los valores de NSE fueron negativos para ambas versiones, sin embargo, los valores cercanos a cero indican que el error de predicción del modelo disminuye. Bajo este contexto MSDOS presentó un mejor comportamiento con un valor de -0.64 en comparación a WinEPIC que obtuvo un valor de -1.5. Los valores de PBIAS mostraron una sobrestimación del rendimiento en ambas versiones en el orden del 2.83% y 1.8% para MSDOS y WinEPIC respectivamente, donde esta última versión mostró un mejor resultado.



**Figura 26.** Comportamiento de rendimientos observados (RO) y simulados (RS) para materiales criollos: a) simulación de rendimientos en MSDOS y b) simulación de rendimientos en WinEPIC.

Este comportamiento, más difuso, se explica por la heterogeneidad en el crecimiento de los materiales criollos, los cuales difieren en sus coeficientes de cultivo, aun dentro de una parcela, en términos de la arquitectura de la planta, área foliar, profundidad radicular, altura de la planta y eficiencia fotosintética. Los modelos de simulación por lo general aplican coeficientes de cultivos uniformes para los diferentes tipos de materiales, los cuales pueden o no ser aplicables a materiales criollos. Esto implicó que la aplicación del modelo EPIC, en los materiales criollos de la región, requirió de ajustes adicionales en los coeficientes mostrados en el Cuadro 17.

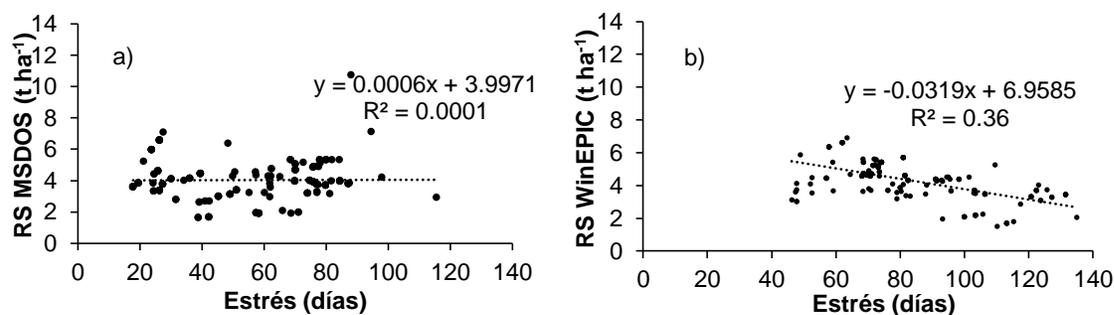
En términos generales la versión MSDOS mostró resultados más satisfactorios, en la estimación de rendimientos de maíz, a pesar de las mejoras del submodelo de crecimiento de WinEPIC; en el cálculo de ETP y el ciclo del carbono. A nivel operativo, WinEPIC facilitó el ingreso y la edición de la información requerida por el modelo; la cual se concentra en un archivo de Microsoft Access (\*.mdb). Sin embargo, WinEPIC está limitado por una interfaz gráfica que solo permite ejecutar corridas parcela por parcela. A diferencia de MSDOS que permite programar corridas automáticas, a través de un archivos de procesamiento por lotes (\*.bat), que agiliza sustancialmente la ejecución del modelo cuando se dispone de múltiples parcelas y varios escenarios de simulación (Liu *et al.*, 2007; Villar *et al.*, 1999).

#### **7.4. Efecto comparativo del estrés en el rendimiento.**

El modelo, en su versión para Windows, no muestra en sus salidas el cálculo de los días de estrés que sufre el cultivo por carencia de nitrógeno (N) y fósforo (P); en comparación con la versión MSDOS que si los reporta. Estos resultados indican que las subrutinas para estimar el estrés por nitrógeno y fósforo de WinEPIC podrían estar desactivadas.

La variación del rendimiento de grano en la simulación, entre las versiones MSDOS y Windows de EPIC, es atribuible en primera instancia a los días de estrés que presentó el cultivo. Para ambas versiones (Figura 27) se observa una relación inversamente

proporcional entre RS y los días de estrés (suma de hídrico y bajas temperaturas); lo que implica que a mayor número de días con estrés, por parte de la planta, menor rendimiento de grano. La versión de Windows, en comparación a MSDOS, simuló mejor el efecto de los estreses sobre el rendimiento de grano, con un valor de  $r^2$  igual a 0.36. La baja correlación entre estrés y rendimiento puede atribuirse a efectos de la densidad de plantación (MSDOS) y a la imposibilidad de EPIC para valorar el estrés que produce la competencia con las arvenses, por agua y luz, así como el ataque de plagas y enfermedades.



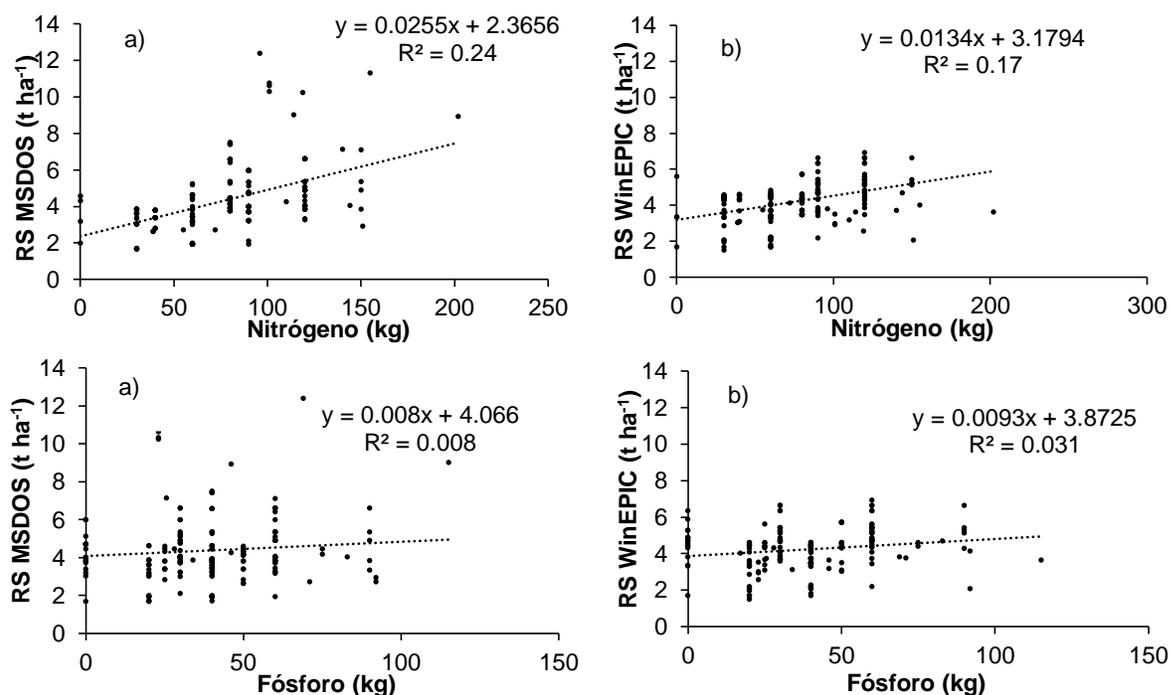
**Figura 27.** Relación entre días de estrés (agua y temperatura) y el rendimiento de grano simulado (RS): a) simulación de estreses en MSDOS y b) simulación de estreses en WinEPIC.

En la versión MSDOS se observa que por cada día de estrés se disminuye el rendimiento de grano en  $0.6 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que en WinEPIC esta disminución es de  $31.9 \text{ kg ha}^{-1}$ . Estos resultados son importantes ya que permiten identificar prácticas de manejo que ayuden a disminuir los días de estrés; a través de incremento de la humedad en el suelo (Flores *et al.*, 2014) o en las fechas de siembra que reduzcan los riesgos de bajas temperaturas durante los periodos críticos del cultivo (Carvalho *et al.*, 2004; Boyer y Westgate, 2004).

## 7.5. Efecto comparativo de los nutrientes en el rendimiento

El efecto de la fertilización (estiércol y/o fuentes minerales de N y P) en el RS es calculado en ambas versiones del modelo; se observa una relación directa entre

fertilización nitrogenada y fosfatada y el rendimiento de maíz (Figura 28). El modelo MSDOS reportó una mejor correlación para nitrógeno con un incremento de 25.5 kg de grano por kilogramo de nitrógeno. Mientras que el fósforo tiene una mejor correlación con WinEPIC con un incremento de 9.3 kg de grano por kilogramo de este elemento. Estos resultados difieren a lo reportado por Bishop *et al.* (2010) quienes indican que WinEPIC no diferencia los aportes orgánicos, así como las fuentes distintas de N y P en diferentes épocas de aplicación

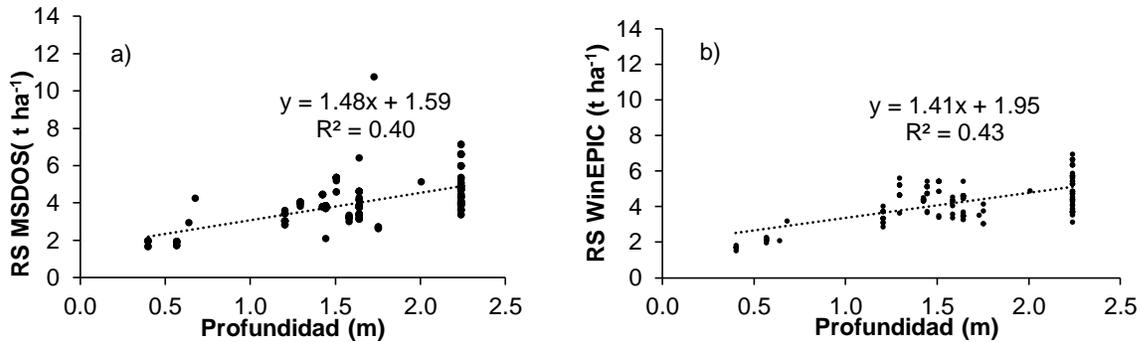


**Figura 28.** Efecto de la fertilización en los rendimientos simulados (RS): a) simulación en MSDOS y b) simulación en WinEPIC.

### 7.6. Efecto comparativo de la profundidad del suelo en el rendimiento.

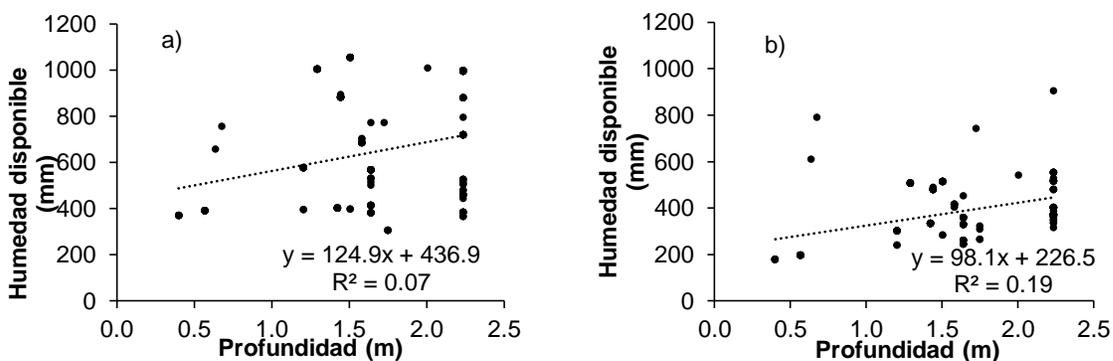
La profundidad del suelo en las parcelas bajo estudio fluctuó entre 0.40 a 2.24 m y se observó, en ambas versiones, que la profundidad del suelo influye directamente en los RS y la humedad disponible. En la versión MSDOS la profundidad del suelo mostró mayor efecto en el rendimiento, con un incremento de 1,480 kg ha<sup>-1</sup> por cada metro en profundidad del suelo, mientras que en WinEPIC el incremento de grano fue de 1,410 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 29). La versión de Windows mostró un mejor coeficiente de

determinación, en comparación a MSDOS, entre la profundidad del suelo y RS; con un valor de  $r^2$  igual a 0.43.



**Figura 29.** Efecto de la profundidad del suelo en la simulación del rendimiento: a) simulación de profundidad del suelo en MSDOS y b) simulación de profundidad del suelo en WinEPIC

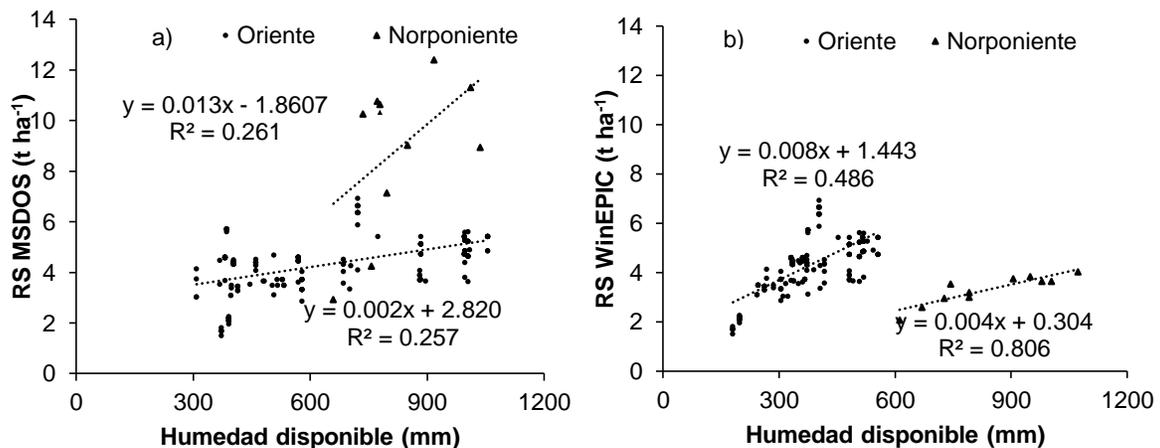
En ambos modelos, se observó que a medida que aumenta la profundidad del suelo también aumenta la humedad disponible (Figura 30). El modelo WinEPIC, en comparación con MSDOS, simuló de mejor forma el efecto de la humedad del suelo con respecto a la profundidad; con un valor de  $r^2$  igual a 0.19 y un aumento de la humedad de 98.1 mm por metro de profundidad del suelo. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Contreras *et al.* (2005) quienes señalan que una disminución de la profundidad del suelo, limita el almacenamiento de agua y por ende impacta en el rendimiento del cultivo.



**Figura 30.** Relación entre la profundidad del suelo y humedad disponible: a) simulación de humedad en MSDOS y b) simulación de humedad en WinEPIC.

La variación de los RS en una misma región, en la versión MSDOS como en Windows, es afectado de manera directa por la humedad disponible en el suelo, la cual amortigua el efecto del estrés (hídrico y por bajas temperaturas) sobre los rendimientos. La versión MSDOS mostró un incremento del rendimiento en la zona oriente de 2 kg ha<sup>-1</sup>, por cada incremento de mm de agua disponible, mientras que en WinEPIC el incremento fue de 4 kg ha<sup>-1</sup>. En la zona norponiente, la versión MSDOS mostró un incremento en el rendimiento de 13 kg ha<sup>-1</sup>, cuando se aumenta un mm de agua disponible, en el caso de WinEPIC el rendimiento aumentó en 8 kg ha<sup>-1</sup> por mm de agua disponible. WinEPIC mostró un mejor coeficiente de determinación, en comparación a MSDOS, entre el RS y la humedad disponible, con un valor de r<sup>2</sup> igual a 0.81 y 0.49 para las zonas oriente y norponiente, respectivamente.

Estos resultados indican que las diferencias climáticas entre regiones, marcan distintos patrones de correlación entre humedad y rendimiento, donde a mayor humedad disponible aumenta el rendimiento de grano (Figura 31).

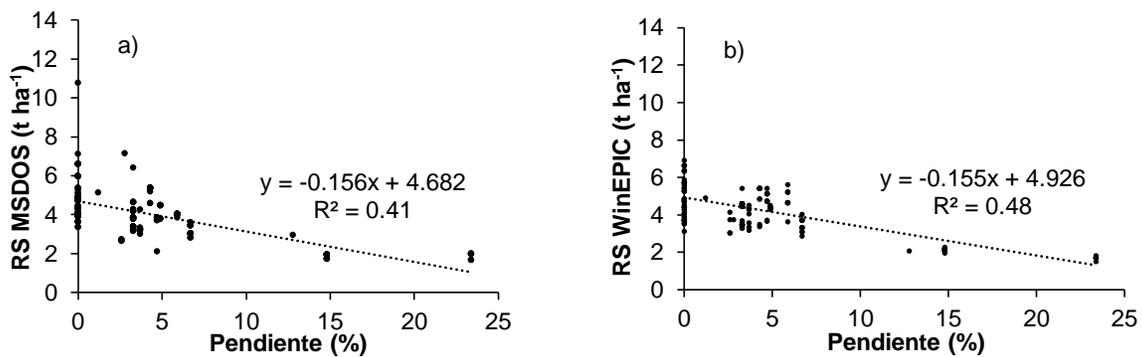


**Figura 31.** Efecto de la humedad disponible en los RS: a) simulación de la humedad disponible en MSDOS y b) simulación de la humedad disponible en WinEPIC.

### 7.7. Efecto comparativo de la pendiente en el rendimiento.

Las parcelas analizadas se ubicaron en pendientes que oscilan entre 0 y 23.4%. Las parcelas con los mayores rendimientos simulados se ubican en pendientes menores al 5% (Figura 32). En ambas versiones del modelo existe una relación inversamente

proporcional entre la pendiente del terreno y el RS, lo que indica que el rendimiento disminuye conforme se incrementa la pendiente. La versión MSDOS mostró una disminución del rendimiento de 156 kg ha<sup>-1</sup>, por cada incremento unitario de la pendiente (%), mientras que en WinEPIC la disminución, con respecto a la misma variable, fue de 155 kg ha<sup>-1</sup>. WinEPIC mostró una mejor correlación, en comparación a MSDOS, entre el RS y la pendiente topográfica, con un valor de r<sup>2</sup> igual a 0.48. Estos resultados concuerdan con las afirmaciones de Villar *et al.* (2003) quienes mencionan que la pendiente es el principal factor de impacto en la productividad de los suelos; por una mayor exposición a la erosión hídrica y la pérdida de nutrientes.



**Figura 32.** Efecto de la pendiente sobre el rendimiento: a) simulación del efecto de la pendiente en MSDOS y b) simulación del efecto de la pendiente en WinEPIC.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los rendimientos simulados por el modelo EPIC, en sus dos versiones utilizadas, no fueron iguales, lo que indica diferencias en los sub-modelos de crecimiento vegetal. Entre estas diferencias se identificaron aquellas relacionadas con el cálculo del estrés por fertilización y humedad.

La versión de MSDOS, en comparación a WinEPIC, tuvo mejores índices de eficiencia ( $r^2 = 0.71$ , PBIAS=4.3% y NSE = 0.58), con resultados más satisfactorios para la simulación de rendimientos de maíz bajo condiciones climáticas, edáficas, prácticas de manejo y diversidad genética. Dicha versión, tuvo los mejores índices de eficiencia para la predicción del rendimiento en materiales mejorados, con valores de  $r^2$ , NSE y PBIAS de 0.79, 0.69 y un 5.20% de sobreestimación, respectivamente.

WinEPIC, en comparación con MSDOS, simuló mejor el efecto del estrés (humedad y bajas temperaturas), la profundidad del suelo y la pendiente del terreno sobre el rendimiento de grano; con disminuciones en el rendimiento de: 31.9 kg ha<sup>-1</sup> por día de estrés, 1.41 kg ha<sup>-1</sup> por milímetro de reducción en la profundidad del suelo y de 155 kg ha<sup>-1</sup> por incremento unitario (por ciento) de la pendiente del terreno, respectivamente.

Ambas versiones pueden ser utilizadas para la estimación de los rendimientos, sin embargo, para su uso ha de considerarse el volumen de información y escenarios a procesar.

Para la mejora operativa de WinEPIC, es necesario incorporar un procedimiento para editar o incorporar información de entrada en lotes, como sucede con los archivos \*.bat de MSDOS. Esta mejora disminuiría los tiempos de procesamiento de grandes volúmenes de información y hacer cambios automatizados de los parámetros fisiotécnicos del cultivo. De igual manera, se recomienda modificar las rutinas internas de WinEPIC para la simulación de los estreses por nutrientes, aluminio, aireación, debido a que esta versión solo reporta por temperatura y humedad.

## 9. LITERATURA CITADA

- Alcántara N., J.S. 2004. Plan de desarrollo urbano de Acambay. Presidencia Municipal. Acambay, México.
- Andrade L., y Moreano R. 2013. Sistema de Información para la interpolación de datos de Temperatura y de Precipitación del Ecuador. *Revista Politécnica* (32):70-75.
- Apezteguia H, P., R.C. Izaurralde, and R. Sereno. 2009. Simulation study of soil organic matter dynamics as affected by land use and agricultural practices in semiarid Córdoba, Argentina. *Soil Till. Res.* 102 (1): 101–108.
- ASERCA. (30 de enero 2013). Se dispara importaciones de maíz por sequía y heladas. *Milenio Diario. Productos y productores*. [En línea]. Disponible en: <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article114003> (consultado el 28 de noviembre de 2013).
- Balkovic, J., V.M. Van der, E. Schmid, R. Skalský, N. Khabarov, M. Obersteiner, B. Stürmer and W. Xiong. 2013. Pan-European crop modelling with EPIC: Implementation, up-scaling and regional crop yield validation. *Agricultural Systems* 120:61-75.
- Bartolini, R. 1990. *El maíz*. Mundi Prensa. Madrid. 276 p.
- Bedoya A., C. y V.H. Chávez, T. 2010. Teocintle: el ancestro del maíz. *Claridades agropecuarias* 201: 32-42.
- Benítez C., C.G. 2006. El maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avanzados* 7:15-20.
- Billen, N., C. Roder, T. Gaiser, and K. Stahr. 2009. Carbon sequestration in soils of SW Germany as affected by agricultural management—calibration of the EPIC model for regional simulations. *Ecol. Model.* 220 (1): 71–80.
- Bishop, C., K.R. Curtis, and M. Kim. 2010. Conserving Water in Arid Regions: Exploring the Economic Feasibility of Alternative Crops. *Agricultural Systems* 103(8): 535-542.
- Borgesen, C.D. and J.E. Olesen. 2011. A probabilistic assessment of climate change impacts on yield and nitrogen leaching from winter wheat in Europe. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 11: 2541–2553.
- Boote, K. J., J. Jones, and G. Hoogenboom. 1998. Simulation of crop growth: CROPGRO Model. *In*: R. M. Peart and R. B. Curry (Eds.). *Agricultural Systems Modeling and Simulation*. Marcel Dekker, New York. pp: 113-133.
- Boyer, JS, and Westgate, ME. 2004. Grain yields with limited water. *Journal of Experimental Botany* 55(407): 2385-2394.
- Brisson, N., C. Gary, E. Justes, R. Roche, B. Mary, D. Ripoche, D. Zimmer, J. Sierra, P. Bertuzzi, P. Burger, F. Bussi re, Y.M. Cabidoche, P. Cellier, P. Debaeke, J.P. Gaudill re, C. H nault, F. Maraux, B. Seguin, and H. Sinoquet. 2003. An overview of the crop model STICS. *Europ. J. Agronomy* 18:309-332.
- Brouwer, F.M. and M. Van Ittersum. 2010. *Environmental and Agricultural Modelling: Integrated Approaches for Policy Impact Assessment*. Springer. New York. 322 pp.

- CYCASA. 2009. Establecimiento del cultivo de maíz. Capacitación y Consultoría Agroalimentaria. Proyecto Estratégico de Apoyo a la Cadena Productiva de los productores de Maíz y Frijol (PROMAF). Guadalajara, Jalisco.
- Carvalho, L. D. De and N.A.J. Steidle. 2011. Simulation models applied to crops with potential for biodiesel production. *Computers and Electronics in Agriculture* 75: 1-9.
- Carvalho, M. R. Soratto, M. Athayde O. Arf e M. As de. 2004. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. *Pesq. Agropec. Brás.* 39(1):47-53 p.
- Castañeda R., P. 1990. El maíz y su cultivo. Mundi Prensa. México, D.F. 127 pp.
- Causarano, H.J., J.N. Shaw, A.J. Franzluebbbers, D.W. Reeves, R.L. Raper, K.S. Balkcom, M.L. Norfleet, and R.C. Izaurralde. 2007. Simulating field-scale soil organic carbon dynamics using EPIC. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1174–1185.
- Causarano, H.J., P.C. Doraiswamy, G.W. McCarty, J.L. Hatfield, S. Milak, and A.J. Stern. 2008. EPIC modeling of soil organic carbon sequestration in croplands of Iowa. *J. Environ. Qual.* 37: 1345–1353.
- CESAVEG. 2010. Manual de plagas y enfermedades del maíz. Comité Estatal de Sanidad Vegetal. Gobierno del Estado de Guanajuato. Folleto técnico. Guanajuato, México. 20 pp.
- CIMMYT. 2013. Etapas de crecimiento del maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. [En línea]. Disponible en: <http://maizedoctor.cimmyt.org/index.php/es/empezando/9?task=view> (consultado el 16 de diciembre de 2013).
- Collopy, M.W. and J.M. Thomas. 2010. Restoration of a Desert Lake in an Agriculturally Dominated Watershed: The Walker Lake Basin. Report Project G Walker Basin, University of Nevada. 1-32 pp.
- CONABIO. 2008. Información biológica- agronómica básica sobre los maíces nativos y sus parientes silvestres. *In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (ed.). Agrobiodiversidad en México: el caso del Maíz. México, D.F. pp: 4-15.*
- Contreras, H. J., V. Volke-Haller., J. Oropeza M., C. Rodríguez F., T. Martínez S., y A. Martínez G. 2005. Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuitlán, Oaxaca. *TERRA Latinoamericana* 23(3): 399-408.
- De Barros, I., J.R. Williams, and T. Gaiser. 2004. Modeling Soil Nutrient Limitations to Crop Production in Semiarid NE of BRAZIL with a Modified EPIC Version I: Changes in the Source Code of the Model. *Ecol. Model.* 178: 441-456.
- De la Casa A., y G. Ovando. 2007. Integración del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) y del ciclo fenológico de maíz para estimar el rendimiento a escala departamental en Córdoba, Argentina. *Agricultura Técnica (Chile)* 67(4): 362-371.
- De León C. 2008. Como producir y mantener semilla de variedad de polinización libre. *In: Rodríguez M., R. (ed.). El cultivo de maíz: Temas selectos. Colegio de Postgraduados. México. pp: 89-92.*
- Del Bosque R., L.A. y A. Marín J. 2008. Insectos plaga y su control. *In: Rodríguez M., R. (ed.). El cultivo de maíz: Temas selectos. Colegio de Postgraduados. México. pp: 29-46.*
- Deras F., H. 2008. Guía técnica. El cultivo del maíz. IICA- Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador. 42 p.

- Domínguez A., A. 2003. Estudio de Respuesta Hidrodinámica Simulada en el acuífero del Valle de Acambay. Tesis Maestro en Ciencias Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 80 pp.
- Doraiswamy, P.C., S. Moulin, P.W. Cook, and A. Stern. 2003. Crop yield assessment from remote sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69(6): 665-674
- Doraiswamy, P.C., G.W. McCarty, E.R. Hunt Jr., R.S. Yost, M. Doumbia, A.J. Franzluebbers. 2007. Modeling soil carbon sequestration in agricultural lands of Mali. *Agric. Syst.* 94 (1): 63–74.
- Echeverría E., H. y H. Sainz R. 2007. Maíz. [En línea]. Disponible en: <http://www.cuencarural.com/agricultura/39671-maiz/> (consultado el 10 de enero de 2014).
- ESRI, 2013. Comparar métodos de interpolación. Environmental Systems Research Institute (ESRI). [En línea]. Disponible en: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000z4000000> (consultado el 05 de diciembre de 2014).
- FAO. 1997. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Zonificación agroecológica: Guía general. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w2962s/w2962s08.htm> (consultado el 16 de diciembre de 2013).
- FAO. 2006. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/default.stm> (consultado el 03 de Febrero de 2015).
- FAO, 2013. Food and Agricultural commodities production. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (consultado el 28 de noviembre de 2013).
- Farina, R., G. Seddaiu, R. Orsini, E. Steglich, R. P., Paolo, and R. Francaviglia. 2011. Soil carbon dynamics and crop productivity as influenced by climate change in a rainfed cereal system under contrasting tillage using EPIC. *Soil & Tillage Research* 112: 36-46.
- Fernández R., D. S. 1996. Aplicación del modelo de simulación SWRRB para determinar el balance hidrológico de la cuenca “El Tejocote”, Atlacomulco, Estado de México. Tesis Maestro en Ciencias Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 359 pp.
- Fernández R., D.S. 2008. Evaluation of Sustainable Agriculture Systems in Central Mexico. Ph.D. Thesis. University of Arizona. [En línea]. Disponible en: <http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/195783>.
- Francaviglia, R., R. Farina, and G. Seddaiu. 2010. Dinámica del carbonio organico e rese colturali in differenti scenari di cambiamento climatico. *Italian Journal of Agrometeorology*: 11-12.
- Financiera Rural, 2013. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Documentos%20de%20SIAP/PerspectivasMa%C3%ADz1996a2012.pdf> (consultado el 03 de diciembre de 2013).
- Fischer, G., M. Shah, H. van Velthuisen and F.O. Nachtergaele. 2000. Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century. *In*: Proceedings of the IIASA, Vienna.
- Flores L., H.E., J.A. Ruiz C., C. De la Mora O., P. Zarazúa V., A. A. Chávez D., H. Ramírez V., y M.A. Velásquez V. 2014. Aplicación del modelo EPIC para evaluar el efecto del cambio climático y prácticas de

manejo sobre el rendimiento de grano de maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (10): 2007-2020.

Gandonou, J.M. y C.R. Dillon. 2007. Precision Timing and Spatial Allocation of Economic Fertilizer Application. Paper for presentation in Southern Agricultural Economics. Association Annual Meeting, Mobile, Alabama

García de M., E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. 246 pp.

García P., R. 1989. Resumen monográfico de Acambay. Presidencia Municipal. Acambay, México.

García P., A. D., y C. López C. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25 (4): 381-386.

García S., J.A. y M.J. Santiago C. 2004. Importaciones de maíz en México: un análisis espacial y temporal. *Investigación Económica*. Vol. LXIII (250): 131-160.

Gassman, P. W., J. R. Williams, V. W. Benson, R. C. Izaurralde, L. M. Hauck, and J.W. Hansen. 2002. Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Agric. Syst.* 74: 309–330.

Gassman, P. W., T. Campbell, C. Izaurralde, A.M. Thomson, and J.D. Atwood. 2003. Regional Estimation of Soil Carbon and Other Environmental Indicators Using EPIC and i\_EPIC. Technical Report 03-TR-43. Center for Agricultural and Rural Development.

Gassman, Philip W. 2005. Historical development and applications of the EPIC and APEX models. edited by J. R. Williams, V. W. Benson, R. C. Izaurralde, L. M. Hauck, C. A. Jones, J. D. Atwood, J. R. Kiniry and J. D. Flowers. Iowa State University: Center for Agricultural and Rural Development.

Gerik, T.J., W.L. Harman, J.R. Williams, L. Francis, J. Greiner, M. Magre, A. Meinardus, and E. Steglich. 2006. Researcher's Guide for WinEPIC, Version 3.0. Blackland Research and Extension Center, Temple, TX.

González D., L. 2006. La producción de maíz en el Estado de México y su mejoramiento. *In*: Suárez F. (ed.). *A media legua: Repensando el Desarrollo Rural*. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. pp: 292-315.

Guzmán S., E., M.T. De la Garza C., J.A. García S., J. Hernández M. y S. Rebollar R. 2012. Determinantes de la oferta de maíz grano en México. *Agronomía Mesoamericana* 23(2): 269-279.

Hammer, G.L., M. J. Kropff, T.R. Sinclair, and J.R. Porter. 2002. Future contributions of crop modeling—from heuristics and supporting decision making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement. *Eur. J. Agron.* 18: 15–31.

Hansen, J.W. 2002. Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Agric. Syst.* 74: 309–330.

Herrera, M.E. 1993. *Estratigrafía y Mineralogía del Estado de México*. Instituto de Geología. Universidad Autónoma de México. Pp.118.

Hellin, J., A. Keleman, D. López, L. Donnet, y D. Flores. La importancia de los nichos de mercado: Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol 36. Especial 6: 315-328.

ICAMEX, 2000. Características Agronómicas de Híbridos y Variedades de Maíz en el Estado de México. Instituto de investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. Publicación especial 16, 12 pp.

INEGI. 1981. Carta edafológica: México. Escala 1:1 000 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recrenat/edafologia/default.aspx> (consultado el 28 de Enero de 2014).

INEGI, 2007. Unidades de producción con superficie agrícola y su superficie por municipio según disponibilidad de agua. VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [En línea]. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/ca2007/resultados\\_agricola/default.aspx](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/ca2007/resultados_agricola/default.aspx) (consultado el 25 de Enero de 2014).

INEGI. 2010. Censo de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [En línea]. Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx/> (consultado el 5 de Enero de 2014).

INEGI. 2013. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx> (consultado el 04 de Noviembre de 2014).

INEGI. 2010. México en cifras: Información nacional, por entidad federativa y municipios. Instituto Nacional de Estadística y Geografía [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/movil/MexicoCifras/mexicoCifras.aspx?em=15001&i=e> (consultado el 17 de diciembre de 2013).

INIFAP. 2013. Cálculo de unidades calor. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. [En línea]. Disponible en: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/aplicaciones/ucolor.aspx> (consultado el 21 de Diciembre de 2013).

Izaurrealde, R.C., W.B. McGill, J.A. Robertson, N.G. Juma, Thurston, J.J., 2001a. Carbon balance of the Breton classical plots over half a century. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 431–441.

Izaurrealde, R.C., J.R. Williams, W.B. McGill, N.J. Rosenberg and M.C.Q. Jakas. 2006. Simulating soil C dynamics with EPIC. Model description and testing against long-term data. *Ecol. Model.* 192: 362–384.

Kato, Y., T.A., C. Mapes S., L.M. Mera O., J.A. Serratos H., R.A. Bye, B. 2009. Origen y diversificación del Maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.

Liu, S.G., N. Bliss, E. Sundquist, and T.G. Huntington. 2003. Modeling carbon dynamics in vegetation and soil under the impact of soil erosion and deposition. *Global Biogeochem. Cycles* 17: 1074.

Licona, S. J., M. Martínez M., L.E. Mendoza O., B. Figueroa S., D. Fernández R. 2006. Uso del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz con base en variables fisiotécnicas en el Oriente del Estado de México. *Terra Latinoamericana*. Vol. 24 (2):283-291.

Llanos, C., Manuel. 1984. El maíz; su cultivo y aprovechamiento. Mundi Prensa. Madrid.318 p.

Lobell, B. D., J.I. Ortiz M., and W.P. Falcon. 2007. Yield uncertainty at the field scale evaluated with multi-year satellite data. *Agricultural Systems* 92:76-90.

Lozano G., M. d. S. and Xelhuantzi-L., M. S., 1997. Some problems in the late quaternary pollen records of central Mexico: basins of Mexico and Zacapu. *Cuaternary International*, 43/44: 117-123.

Martin, R. 2005. Economic evaluation of an integrated cropping system with cotton. Agricultural and Applied Economics. Texas Tech University.

Maximiliano M., G., M.G. Rivera H., A.L. Franco M. y J. Soria R. 2011. La comercialización de maíz después de Conasupo en dos comunidades del norte del Estado de México. Economía, Sociedad y Territorio. Vol. XI, 35:197-224.

Medina G., G., A.D. Baez G., J. López H., J. A. Ruiz C., C.A. Tinoco A., and J. R. Kiniry. 2010. Modelo Regional para predecir el rendimiento de frijol de temporal en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 1. (3): 413-426.

Miramontes L., E., E. Cruz G., y B. Ellsworth. 2008. Fenología del maíz. Asistencia Técnica para el Desarrollo Rural (ATIDER). Manual Técnico del Extensionista. Guadalajara, Jalisco. 22 p.

Ortega P., R. 2003. La diversidad del maíz en México. *In*: Esteva, G., y C. Marielle (coord.). Sin Maíz no hay País. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas. México, D.F. pp: 123-154.

Palacios V., E. 2010. La importancia del riego en la producción de maíz en México. *In*: De León C., y R. Rodríguez, M. (eds.). El cultivo de maíz, temas selectos. Colegio de Postgraduados. México, D.F. pp: 175-190.

Parton, W.J., D.S. Schime, D.S. Ojima, and C.V. Cole. 1994. A general model for soil organic matter dynamics: sensitivity to litter chemistry, texture and management. *In*: Bryant, R.B., Arnold, R.W. (eds.), Quantitative Modeling of Soil Forming Processes. SSSA, Madison, WI, SSSA Special Publication 39: 147–167.

Ramírez V., J. y A. Loza P. 1986. Costos de producción de maíz de temporal con tecnología regional y CAEVAMEX. Distrito 066, Texcoco. Revista Latinoamericana de Economía 17 (64/65): 25-45.

Reyes C., P.1990. El maíz y su cultivo. AGT- EDITOR S.A. México D.F.

Rinaldi, M. y Luca, D. De. 2012. Application of EPIC model to assess climate change impact on sorghum in southern Italy. Italian Journal of Agronomy 7:74-85.

Robinson, E. 2004. Simulation: The Practice of Model Development and Use. John Wiley & Sons, Ltd, England. pp.15-20

Ruiz C., J.A., H.E. Flores L., J.L. Ramírez D., y D.R. González E., 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condicione de temporal. Agrociencias 36(5): 569-577.

Saini, H. S., and M.E. Westgate. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. Adv. Agron. 68: 59-96.

Sargent, G. H., B. Biller, M.H. Hsieh, J. Shortle, J. D. Tew , and R. R. Barton. 2007. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference. 124-137 pp.

SAGARPA. 2013. Estructura de atención: Estado de México. [En línea]. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: [https://www.suri.sagarpa.gob.mx/webPublica/estructura\\_atencion.aspx?idedo=15](https://www.suri.sagarpa.gob.mx/webPublica/estructura_atencion.aspx?idedo=15) (consultado el 15 de diciembre de 2013).

SEDAGRO. 2011. Superficie agrícola asegurada, siniestrada, suma asegurada y monto de indemnización según municipio. Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estados de México. [En

línea]. Disponible en: <http://igecem.edomex.gob.mx/descargas/Informacionestadistica/SEDAGRO.zip> (consultado el 16 de diciembre de 2013).

SEMARNAT, 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Diciembre 2002.

SMN.2012. Estaciones meteorológicas. Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional de Agua. [En línea]. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx> (consultado el 28 de mayo de 2013).

SIAP, SAGARPA. 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [En línea]. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (consultado el 25 de noviembre de 2013).

Sobocka, J., J. Balkovic, and M. Lapin. 2007. A CENTURY 5 Model Using for Estimation of Soil Organic Matter Behaviour at Predicted Climate Change. *Soil & Water Res.* 2(1): 25-34.

Soria R., J., Y. Fernández O., y R. Granados R. 2004. Methodology for prediction of corn yield using remote sensing satellite data in Central Mexico. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Investigaciones Geográficas* 55: 61-78.

Soto, R. y Mijares, P. 2007. Proyectos de investigación y transferencia de tecnología de maíz en el Estado de México. <http://sedagrotecnologia.wordpress.com/2007/11/13/proyectos-de-investigacion-y-transferencia-de-tecnologia-de-maizen-el-estado-de-mexico/> (27 junio 2008).

Steglich, E. y L. Francis. 2008. Creating WinEPIC/ CropMan/ WinAPEX Database and Related Files for Your Area Using the Texas Central Database. *BREC Report* 15: 4-22.

Stockle, C.O., J.R. Williams, C.A. Jones, and N.J. Rosenberg. 1992. A method for estimating the direct and climatic effects of rising atmospheric carbon dioxide on growth and yield of crops. I. Modification of the EPIC model for climate change analysis. *Agric. Syst.* 38(3): 225–238.

Tiscareño L.M., Izaurrealde C., N. J. Rosenberg, A. D. Baéz G., y J.Salinas G. 2003. Modeling El Niño Southern Oscillation Climate impact on Mexican agriculture. *Geofísica Internacional* 42 (3): 331-339.

Torbert, H. A., T. J. Gerik, W. L. Harman, J. R. Williams, and E. Steglich. 2005. Alabama CropMan: A user friendly interface for crop production simulations. *In: Florence, S.C. Proceeding of the Southern Conservation Tillage Conference, [CD-ROM]. Pee Dee Research and Education Center.* 203–210 pp.

Torbert, H. A., T. J. Gerik, W. L. Harman, J. R. Williams, and M. Magre. 2008. EPIC Evaluation of the Impact of Poultry Litter Application Timing on Nutrient Losses. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. Paper 598. [En línea]. Disponible en: <http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/598> (consultado el 30 de septiembre de 2013).

Torres B., E. 2000. Comparación de los modelos de simulación hidrológica SWRRB y SWAT en la Cuenca “El Tejocote”, Atlacomulco, Estado de México. Tesis Maestro en Ciencias Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 253 pp.

Trucano, T.G., L.P. Swiler, T. Igusa, W.L. Oberkampf, and M. Pilch. 2006. Calibration, validation, and sensitivity analysis: What's what. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 91: 1331–1357.

Villar, S. B., B. Figueroa S., J.L. Oropeza M., L. Landois P., y V. Volke H. 1999. Erosionabilidad de suelos y su impacto en la productividad del maíz en el trópico mexicano. *Agrociencia.* Vol. 32 (3): 199-207.

- Villar, S, B. J. López M., J. Pérez N., y R. Camas G. 2003. Aplicación del modelo de simulación EPIC en la predicción del efecto de sistemas de labranza del suelo. *TERRA Latinoamericana* 21:381- 388.
- Wang, C., J. Li, and T.L. Fan. 2008. Modeling the effects of winter wheat and spring maize rotation under different fertilization treatments on yield and soil water in rain-fed highland of Loess Plateau. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 14: 242-251.
- Wang, X., A. R. Kemanian and J.R. Williams. 2011. Special Features of the EPIC and APEX Modeling Package and Procedures for Parameterization.p.177-208. *In* Ahuja L. R. and L. Ma (ed.). *Methods of Introducing System Models into Agricultural Research*. Madison: ASA, CSSA, SSSA.
- Wang, X., J.R. Williams, P. W. Gassman, C. Baffaut, R.C. Izaurralde, J. Jeong, and J.R. Kiniry. 2012. EPIC and APEX: Model use, Calibration, and Validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 55: 1447-1462.
- Wei, S., Y. Hong, S. Jinxi, C. A. Karim and X. Zongxue. 2012. System dynamics simulation model for assessing socio-economic impacts of different levels of environmental flow allocation in the Weihe River Basin, China. *European Journal of Operational Research* 221: 248-262.
- Weiss, M., D. Troufleau, F. Baret, H. Chauki, L. Prévot, A. Olioso. 2001. Coupling canopy functioning and radiative transfer models for remote sensing data assimilation. *Agric. For. Meteorol.* 108:113-128.
- Williams J.R., and K.G. Renard. 1984. Assesment of Soil Erosion an crop productivity with Process Models (EPIC). *In* Follet R.F., and B.A. Stewart (Eds.). *Soil erosion and crop productivity*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. pp.67-103.
- Williams J.R. 1990. EPIC- Erosion Productivity Impact Calculator. Model Documentation. Volumen 2. User Manual. Submitted as USDA-ARS. Technical Bulletin. 236 p.
- Williams, J.R., C.A. Jones and P.T. Dyke, 1990. The EPIC model. *In* EPIC Erosion/Productivity Impact Calculator model documentation. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Technical bulletin number 1768, 3-92.
- Williams, J.R., J.G Arnold, J.R Kiniry, P.W.Gassman and C.H. Green. 2008. History of model development at Temple, Texas. *Hydrological Sciences Journal* 53: 948-960.
- Xianzeng, N., W. Easterling, C.J. Hays, A. Jacobs., and L. Mearns.2009. Reliability and input-data induced uncertainty of the EPIC model to estimate climate change impact on sorghum yields in the U.S. Great Plains. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 129 (1-3):268-276.
- Xue, C. W., J.Li, M. Naveed T., and M. De Hao. 2011. Validation of the EPIC model using a long- term experimental data on the semi-arid Loess Plateau of China. *Mathematical and Computer Modelling* 54:976-986.
- Yang, H.S., A. Dobermann, J.L. Lindquist, D.T.Walters, T.J. Arkebaue, and K.G. Cassman. 2004. Hybrid-maize- a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. *Field Crops Research* 87:131-154.
- Zavaleta M., G., J.C. Quezada G., y P. Escamilla B. 2005. Diagnóstico ambiental Región VII Texcoco. Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de México. Toluca, Edo. Méx. 50 pp.

## 10. ANEXOS

### ANEXO 1. Generadores climáticos en el área de influencia

**Cuadro 20.** Generadores climáticos de la estación Amecameca de Juárez.

MX15007

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	20.1	20.9	23	24.2	24.1	21.5	20.5	20.80	20.6	21.2	20.9	20.3	°C
TMN	0.4	1.7	3.5	5.6	7.3	9	8.6	8.4	8.6	6.2	3	1.6	°C
SDMX	2.2	2.2	2.5	2.2	2.3	2.5	1.8	1.7	1.9	2.1	2.1	1.9	°C
SDMN	2.6	2.5	2.6	2.1	2	2.3	1.9	1.9	2.3	2.7	3.2	2.7	°C
PRCP	14.4	12.3	19.2	35.4	88	161.5	181.2	168.2	186.3	64.3	13.2	6	mm
SDRF	13.7	4.7	8.3	4.8	7.2	8.2	7.3	7.3	8.5	6.9	7.3	4.1	mm
SKRF	2.27	1.95	3.06	1.39	1.85	2.06	1.96	1.81	1.59	1.98	4.22	1.65	mm
PW D	0.028	0.058	0.057	0.132	0.289	0.445	0.662	0.558	0.455	0.18	0.065	0.034	
PW W	0.4	0.413	0.396	0.513	0.542	0.714	0.768	0.732	0.755	0.567	0.304	0.182	
DAYP	1.4	2.6	2.7	6.4	12	18.3	22.9	20.9	19.5	9.1	2.6	1.2	

**Cuadro 21.** Generadores climáticos de la estación Atenco (DGE).

MX15138

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	22.2	23.5	26.1	27.1	27.2	24.9	23.5	23.6	23.3	23.6	23.2	22.3	°C
TMN	1	2	4.7	7.1	9.1	10.7	10.1	9.8	9.6	7	3.3	1.8	°C
SDMX	2.9	2.7	2.9	3	3	3.1	2.1	2.1	2.4	2.6	2.4	2.2	°C
SDMN	2.8	3.2	2.8	2.5	2.4	2.3	1.8	2	2.6	3.1	3.4	3	°C
PRCP	11.4	5.6	14.9	27.4	54	106.6	110.7	113.3	87.2	49.5	7.4	4.8	mm
SDRF	8.1	3.2	5.2	4.5	6.6	7.9	6.8	7	6.9	8.6	4.1	3.7	mm
SKRF	3.83	3.19	2.66	2.11	2.1	2.1	2.19	1.9	1.97	3.62	3.29	2.87	mm
PW D	0.053	0.059	0.085	0.163	0.246	0.346	0.49	0.478	0.363	0.182	0.071	0.046	
PW W	0.321	0.204	0.363	0.4	0.496	0.674	0.68	0.636	0.598	0.467	0.222	0.19	
DAYP	2.2	2	3.6	6.4	10.2	15.4	18.8	17.6	14.2	7.9	2.5	1.7	

**Cuadro 22.** Generadores climáticos de la estación Chalco.

MX15020

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	21.7	22.7	24.9	26.3	26.6	24.2	22.9	22.9	22.7	23.2	22.6	21.9	°C
TMN	0.8	2	4.9	7.2	9	10.5	10.1	9.8	9.7	7.1	3.5	1.7	°C
SDMX	2.6	2.6	3	2.7	2.6	2.9	1.9	2	2.3	2.2	2.5	2.3	°C
SDMN	2.9	3.4	3.1	2.5	2.4	2.3	2	2.1	2.6	3.2	3.4	3.2	°C
PRCP	9.3	8.2	12.1	26.3	56.5	103.4	132.9	127.2	96.2	43.5	7.7	4.6	mm
SDRF	5.9	3.6	8.5	4.9	7.8	6.5	7.5	8.2	7.7	7.4	3.4	4	mm
SKRF	1.26	1.22	3.42	2.16	5.27	1.92	1.91	3.11	2.3	2.11	1.56	1.6	mm
PW D	0.029	0.054	0.057	0.155	0.279	0.368	0.565	0.59	0.367	0.177	0.055	0.035	
PW W	0.406	0.295	0.333	0.341	0.477	0.69	0.663	0.618	0.633	0.404	0.19	0.233	
DAYP	1.5	2	2.5	5.7	10.8	16.3	19.4	18.8	15	7.1	1.9	1.5	

**Cuadro 23.** Generadores climáticos de la estación Chapingo.

MX15170

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	22.5	23.8	26.2	27.2	27.3	24.9	23.5	23.7	23.4	23.8	23.6	22.4	°C
TMN	2.5	3.6	6.2	8.3	9.7	11	10.5	10.3	10.1	7.6	4.6	3.3	°C
SDMX	2.8	2.7	2.8	2.9	2.8	3.1	2.1	2.1	2.5	2.7	2.6	2.6	°C
SDMN	2.7	3	2.7	2.2	2.2	2.2	1.8	1.9	2.4	2.8	3.1	2.7	°C
PRCP	12.5	6.7	14.1	28	48.9	107.6	123.8	111.6	91.5	39.4	8.6	5	mm
SDRF	7.7	3.3	6	5	5.7	6.9	7.1	6.9	7.5	6.4	4.8	4	mm
SKRF	3.78	2.79	3.63	3.17	3.01	1.63	2.58	2.29	2.72	2.19	2.84	2.37	mm
PW D	0.047	0.048	0.092	0.173	0.246	0.401	0.58	0.503	0.381	0.163	0.07	0.038	
PW W	0.5	0.333	0.327	0.462	0.541	0.651	0.696	0.673	0.6	0.453	0.2	0.25	
DAYP	2.7	1.9	3.7	7.3	10.8	16	20.3	18.8	14.6	7.1	2.4	1.5	

**Cuadro 24.** Generadores climáticos de la estación El Tejocote.

MX15167

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	21.1	22.5	25.1	26.3	26.7	24.4	22.9	23	22.6	22.5	22.1	21.1	°C
TMN	1.2	2.4	4.8	7	8.6	9.8	9.3	9.2	9	6.4	3.2	2.1	°C
SDMX	2.7	2.6	2.7	2.9	2.9	3.1	2.3	2.3	2.4	2.6	2.5	2.4	°C
SDMN	2.7	3	2.7	2.5	2.3	2.4	1.9	1.9	2.5	3.1	3.2	2.9	°C
PRCP	9.4	6.5	12.6	24.6	51	96.3	120	98.5	81.7	42.4	7.6	3.9	mm
SDRF	7.9	4.2	7	4.7	6.2	7.3	7.3	6.6	7.2	6.7	5.6	2.9	mm
SKRF	4.08	1.63	3.18	3.01	2.43	2.12	2.55	2.17	2.35	1.7	2.73	1.92	mm
PW D	0.042	0.04	0.069	0.14	0.227	0.348	0.535	0.442	0.333	0.154	0.048	0.033	
PW W	0.346	0.286	0.257	0.44	0.471	0.648	0.667	0.617	0.573	0.429	0.24	0.289	
DAYP	1.9	1.5	2.6	6	9.3	14.9	19.1	16.6	13.1	6.6	1.8	1.4	

**Cuadro 25.** Generadores climáticos de la estación Juchitepec.

MX15039

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	18.1	19.3	20.4	22.3	23.3	20.8	20	20	19.6	20	19.6	18.3	°C
TMN	4	5.2	6	7.8	9.6	9.7	9.3	9.2	9.3	7.7	6.2	5.2	°C
SDMX	3	3	3.8	3.7	3.7	3.3	2.5	2.6	2.9	2.9	2.8	2.6	°C
SDMN	2.6	2.2	2.6	2.1	2	1.8	1.1	1.3	1.5	1.9	2	2.4	°C
PRCP	17	12.5	14.1	26.3	73	134.6	145.8	139.7	120.9	50.1	12.9	5.2	mm
SDRF	17.4	6	9.4	4.9	8.2	8.4	7.6	8.2	8	9	7.2	6	mm
SKRF	2.71	1.53	3.02	2.38	2.98	1.79	2.03	2.98	2.53	2.19	3.44	2.88	mm
PW D	0.034	0.054	0.056	0.134	0.266	0.431	0.592	0.596	0.451	0.175	0.071	0.035	
PW W	0.412	0.364	0.304	0.484	0.523	0.701	0.726	0.72	0.691	0.428	0.25	0.16	
DAYP	1.7	2.2	2.3	6.2	11.1	17.7	21.2	21.1	17.8	7.3	2.6	1.3	

**Cuadro 26.** Generadores climáticos de la estación Montecillo, C.P.

MX15000

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	20.7	22.1	24.1	25.6	26.1	24.4	22.5	22.8	21.9	22.6	22.3	21.4	°C
TMN	2.2	2.6	4.8	6.9	8.8	10.6	10.4	10	9.4	6.8	3.8	2	°C
SDMX	2.7	2.9	2.5	2.9	2.8	2.8	1.9	1.9	2.3	2.5	2.3	2.3	°C
SDMN	3.6	3.2	3	2.6	2.6	2.5	2	1.9	2.7	3.5	3.5	3.1	°C
PRCP	17.8	10	12.7	34.4	42.7	77.7	123.5	102.4	91.5	50.1	11.9	2.5	mm
SDRF	9.4	3.73	5.91	10.76	8.9	6.08	6.81	6.34	8.5	7.98	3.88	2.93	mm
SKRF	2.383	0.505	4.261	4.458	4.526	1.27	1.631	2.055	2.596	1.679	0.793	1.227	mm
PW D	0.057	0.058	0.101	0.146	0.177	0.308	0.5	0.495	0.331	0.21	0.055	0.025	
PW W	0.278	0.368	0.29	0.417	0.468	0.546	0.715	0.671	0.647	0.371	0.429	0.001	
DAYP	2.3	2.4	3.9	6	7.8	12.1	19.8	18.6	14.5	7.8	2.6	2.6	

**Cuadro 27.** Generadores climáticos de la estación Sn. Jerónimo, Tecámac.

MX15090

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	24	25.5	28.1	29.3	29	26.6	24.9	25	24.7	25	24.9	24	°C
TMN	2.5	3.3	5.3	7.3	9.1	10.2	10	9.8	9.4	7.2	4.3	3.1	°C
SDMX	3.1	3	3.3	3	2.9	3.1	2	2.1	2.7	2.7	2.8	2.7	°C
SDMN	3.4	3.4	3	2.4	2.2	2.5	1.9	1.9	2.6	2.9	3.2	2.9	°C
PRCP	11.5	7.2	18	32.3	55.9	108.4	116.6	112.6	87	43.4	13.2	6.4	mm
SDRF	8.1	3.6	7.7	5.7	7.4	9.9	8.6	9.7	9.6	7.5	6.8	5.3	mm
SKRF	2.6	2.19	2.6	2.32	2.31	2.57	2.73	3.24	2.61	1.56	2.66	1.42	mm
PW D	0.044	0.051	0.072	0.139	0.215	0.262	0.378	0.368	0.265	0.133	0.065	0.027	
PW W	0.279	0.304	0.279	0.444	0.447	0.649	0.556	0.512	0.531	0.433	0.246	0.321	
DAYP	1.8	1.9	2.8	6	8.7	12.8	14.3	13.3	10.8	5.9	2.4	1.2	

**Cuadro 28.** Generadores climáticos de la estación San Luis Ameca, Tenango del Aire. MX15094

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	21.3	22.3	24.7	26.1	26	23.7	22.4	22.5	22.3	22.9	22.4	21.6	°C
TMN	1.9	3.2	5.9	7.8	9.2	10.5	10	9.7	9.7	7	3.5	2.5	°C
SDMX	2.5	2.4	2.6	2.6	2.7	2.9	2	2	2.3	2.5	2.4	2.6	°C
SDMN	3.3	3.6	3.1	2.6	2.5	2.4	2.1	2.1	2.4	3.3	3.9	3.4	°C
PRCP	15.4	7.5	11.6	26.4	65.7	113	135.4	132.7	104.7	48.6	8.4	5.3	mm
SDRF	12.5	4.5	6.5	5.6	7.3	7.8	6.9	7.4	7.1	8.1	4	5.1	mm
SKRF	3.36	2.5	3.09	2.18	2.79	2.15	2.08	2.03	2.3	2.24	2.2	2.53	mm
PW D	0.038	0.047	0.059	0.139	0.281	0.388	0.622	0.565	0.43	0.176	0.061	0.03	
PW W	0.442	0.347	0.394	0.405	0.471	0.688	0.735	0.717	0.707	0.438	0.279	0.378	
DAYP	2	1.9	2.7	5.7	10.8	16.6	21.7	20.7	17.8	7.4	2.3	1.4	

**Cuadro 29.** Generadores climáticos de la estación San Pedro Nexapa, Amecameca. MX15103

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	19	20.3	22.4	23.7	23.3	20.3	19.1	19.2	18.8	19.6	19.7	18.8	°C
TMN	4.1	4.8	6.6	7.9	9	9.1	8.3	8.3	8.2	6.6	5.4	4.3	°C
SDMX	2.7	2.3	3	2.8	3.3	2.9	2.3	2.2	2.3	2.5	2.6	2.4	°C
SDMN	2.1	2.2	2.5	1.9	1.5	1.6	1.4	1.4	1.7	1.9	2	2.2	°C
PRCP	18.5	9.6	17.2	43	92	178.9	151.3	149.6	149.8	63.8	15.1	7.5	mm
SDRF	14.2	6.5	7.1	8.8	7.8	9.5	7.8	8.3	8.3	7.4	4.8	4.1	mm
SKRF	2.3	2.4	3.67	2.66	2.34	2.43	2.78	2.71	2.28	2.25	2.14	1.54	mm
PW D	0.042	0.053	0.062	0.14	0.302	0.494	0.596	0.574	0.527	0.207	0.088	0.045	
PW W	0.37	0.291	0.41	0.516	0.632	0.777	0.8	0.787	0.769	0.594	0.363	0.288	
DAYP	1.9	2	3	6.7	14	20.7	23.2	22.6	20.9	10.5	3.6	1.9	

**Cuadro 30.** Generadores climáticos de la estación Tepexpan, Acolmán.

MX15124

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	22.7	24.4	27	28.2	28.1	25.7	24.2	24.5	24.1	24.2	23.9	22.8	°C
TMN	0.8	1.8	4.3	6.6	8.6	10.2	9.6	9.3	9	6.4	3.1	1.8	°C
SDMX	2.9	2.8	3.1	3.1	2.8	3.2	2.1	2.1	2.6	2.8	2.5	2.4	°C
SDMN	2.6	2.8	2.5	2.2	2.1	2.2	1.8	1.9	2.6	3	3.2	2.8	°C
PRCP	9.8	5.3	15.1	24.8	51.6	108.4	120.7	118.7	91.7	39.8	12.2	6.6	mm
SDRF	7.2	4.2	6.4	4.6	6.8	8.4	7.5	5 8.5	8.9	7.8	7.4	5.4	mm
SKRF	3.39	3.88	2.68	2.23	2.24	2.71	2.29	3.38	3.27	3.09	3.4	1.65	mm
PW D	0.042	0.055	0.092	0.16	0.229	0.347	0.494	0.500	0.324	0.149	0.079	0.031	
PW W	0.346	0.212	290	0.426	0.514	0.661	0.653	0.629	0.596	0.471	0.268	0.333	
DAYP	1.9	1.9	3.6	6.5	9.9	15.2	18.2	17.8	13.4	6.8	2.9	1.4	

**Cuadro 31.** Generadores climáticos de la estación Tlalmanalco.

MX15106

MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	19.9	22	24.3	25	25	23.5	21.9	22.3	22.4	21.5	21.5	20.9	°C
TMN	2.2	5.3	7.8	8.4	9.8	10.3	9.9	9.8	9.1	6.9	4.9	4.5	°C
SDMX	2.5	2.7	2.7	3	3.9	3.4	2.5	2.8	2.5	3.1	2.5	2.6	°C
SDMN	3.2	2.9	3.6	2.8	2.4	2.2	2.1	2.1	2.2	2.6	2.6	2.6	°C
PRCP	0	5.3	7.7	35.4	45.8	166	162	134.6	109.1	34.1	7.6	3.7	mm
SDRF	0	3.2	17.3	7.7	5.2	7	9.8	5.9	7.4	4.1	3.8	4	mm
SKRF	0	1.6	2.38	2.63	0.94	1.31	2.97	1.08	3.54	1.67	0.15	1.42	mm
PW D	0	0.042	0.017	0.063	0.186	0.407	0.495	0.556	0.328	0.265	0.022	0.021	
PW W	0	0.25	0.333	0.606	0.333	0.752	0.624	0.631	0.625	0.153	0.444	0.286	
DAYP	0	1.5	0.8	4.1	6.8	18.6	17.6	18.6	14	7.4	1.1	0.9	

**Cuadro 32.** Generadores climáticos de la estación Acambay.

MX15001

No. YRS SIM= 31													
MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	20.7	22.3	24.5	26.3	25.8	23.7	22.4	22.5	22.2	21.7	21.9	21.2	°C
TMN	1.5	2.6	4.8	6.4	7.4	8.1	8	7.9	7.6	5.8	3.5	2.7	°C
SDMX	3.5	2.9	3.2	3.3	3.8	3.4	2.9	2.8	2.8	3	3.3	3	°C
SDMN	2.6	2	2	1.8	1.6	2.1	1.9	1.8	2.4	2.5	3	2.4	°C
PRCP	19.3	11.4	9.1	30.7	67.7	160	173.6	161.6	135.8	75	12.9	17.2	mm
SDRF	7.62	3.99	3.78	7.18	6.26	12.02	10.29	9.9	10.09	11.33	5.41	5.25	mm
SKRF	1.1	1.002	1.588	2.043	2.151	2.977	4.903	1.622	1.768	2.297	2.274	2.145	
PW D	0.047	0.04	0.047	0.085	0.206	0.291	0.358	0.318	0.261	0.139	0.053	0.057	
PW W	0.391	0.459	0.344	0.481	0.5	0.659	0.646	0.622	0.632	0.551	0.333	0.49	
DAYP	2.2	2	2.1	4.2	9	13.8	15.6	14.2	12.5	7.3	2.2	3.1	
RAD	16	19	20	19	20	19	19	19	17	17	16	15	Ly
RHUM	0.57	0.52	0.48	0.5	0.61	0.72	0.75	0.74	0.75	0.69	0.65	0.62	%

AVE ANN RF= 874.4 mm

**Cuadro 33.** Generadores climáticos de la estación Muyejé.

MX15244

No. YRS SIM= 31													
MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	15.4	16	18.1	19.7	20.3	18.5	16.5	16.7	16.4	16.8	16.5	15.2	°C
TMN	4.1	4.5	5.9	7.5	8.4	8.2	8	8	7.5	6.6	5.4	4.9	°C
SDMX	2.7	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3	2.9	2.6	3.2	3.1	2.7	2.7	°C
SDMN	1.7	1.7	2	1.7	1.7	1.4	1	1.2	1.6	1.8	1.5	1.5	°C
PRCP	18	13.5	10.6	19.6	53.5	121.7	169.5	150	116.6	78.5	11.9	15.8	mm
SDRF	9.02	3.65	5.49	4.47	6.55	9.8	9.25	8.5	10.38	9.45	3.82	4.87	mm
SKRF	2.092	1.727	2.884	1.79	1.838	1.897	1.661	1.293	2.132	2.026	1.492	1.814	
PW D	0.049	0.097	0.071	0.092	0.216	0.259	0.43	0.372	0.262	0.179	0.081	0.075	
PW W	0.371	0.279	0.262	0.467	0.395	0.609	0.616	0.606	0.596	0.508	0.218	0.402	
DAYP	2.3	3.4	2.7	4.4	8.2	12	16.4	15.1	11.8	8.3	2.8	3.5	
RAD	16	19	20	19	20	19	19	19	17	17	16	15	Ly
RHUM	0.56	0.52	0.47	0.5	0.61	0.71	0.73	0.73	0.74	0.7	0.65	0.63	%

AVE ANN RF= 779.1 mm

**Cuadro 34.** Generadores climáticos de la estación El Tejocote.

MX15029

No. YRS SIM= 31													
MONTH	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
TMX	19.8	20.8	22.7	24.3	24.6	22.3	20.5	20.4	20.6	20.6	20.3	19.2	°C
TMN	-0.3	0.5	2.8	5	7.5	9.1	9	8.9	8.6	5.7	2.1	1	°C
SDMX	2.7	2.8	3	3.2	3.5	3.4	2.8	2.4	2.5	3	2.9	3	°C
SDMN	2.7	2.7	2.6	2.2	2	2.1	1.7	1.7	2.3	3.1	3.3	2.9	°C
PRCP	12.7	8	8.4	23.3	59.1	129.4	184	154.6	115.8	60.1	18.6	14.3	mm
SDRF	8.22	3.62	4.95	5.4	8.44	10.25	9.74	10.08	9.9	8.51	8.42	3.39	mm
SKRF	1.442	2.24	2.428	1.821	2.882	1.97	1.605	2.233	1.306	2.104	5.521	1.171	
PW D	0.036	0.048	0.056	0.107	0.207	0.273	0.434	0.386	0.25	0.148	0.083	0.084	
PW W	0.283	0.391	0.242	0.413	0.461	0.642	0.657	0.64	0.569	0.53	0.387	0.287	
DAYP	1.5	2.1	2.1	4.6	8.6	13	17.3	16	11	7.4	3.6	3.3	
RAD	16	19	20	20	20	19	19	19	17	18	16	15	Ly
RHUM	0.57	0.52	0.48	0.49	0.59	0.71	0.76	0.75	0.75	0.68	0.65	0.63	%

AVE ANN RF= 788.3 mm

## ANEXO 2. Datos de identificación en WinEPIC

Para un mejor funcionamiento del modelo e ingreso de la información para áreas geográficas distintas a E.U., es necesario tomar como referencia la base de datos que acompaña a WinEPIC, cuyo nombre es TEXAS CENTRAL (\*.mdb), posteriormente se sigue una serie de pasos que se muestran a continuación:

### 1. Creación de una base de datos

Se requiere copiar el archivo TEXAS CENTRAL (\*.mdb), y renombrarlo con las letras iniciales del lugar de interés (MX CENTRAL.mdb), dentro de la misma carpeta de ubicación (Figura 33).

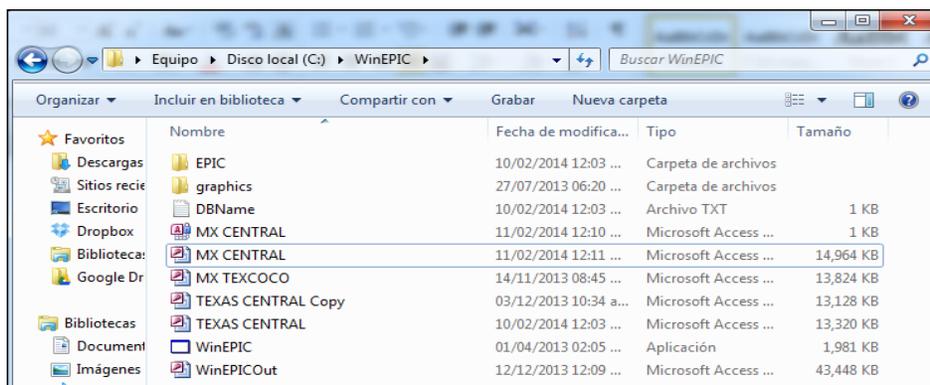


Figura 33. Base de datos (\*.mdb) para la zona de interés.

### 2. Ubicación de la zona de estudio

Es necesario contar con claves de identificación que nos permitan vincular las bases de datos que requiere el modelo, por lo tanto el ingreso de la información será en el orden siguiente:

- **País:** En este apartado se definirá la nomenclatura de la ubicación de la zona de estudio en una delimitación político- geográfica (Figura 34), considerando un ID (numeración automática), una abreviatura del país (2 dígitos), nombre y un código FIPS (el cual servirá para vincular las bases de datos de otras variables, para sitios fuera de EUA, el número asignado será de 99, desde la opción *States*).

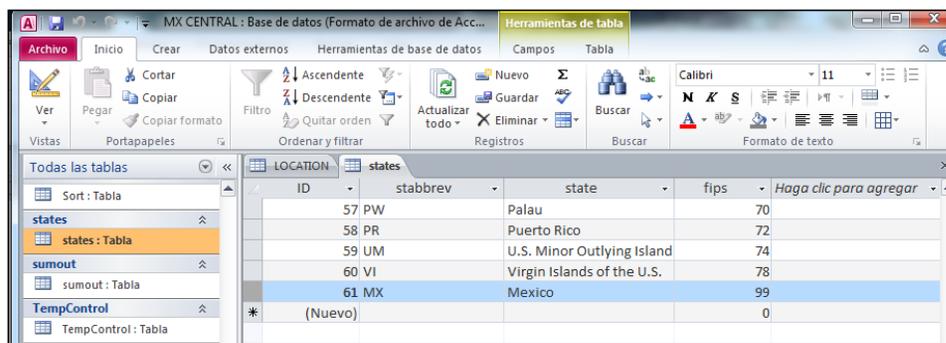


Figura 34. Nomenclatura de identificación para el caso de México.

- **Localización:** Se requiere el nombre de la base de datos en la que se esta trabajando (Thisloc), abreviatura del país y/o estado (Thisstate) y latitud mínima de la zona de interés (latmin), de tal forma que en la opción *Location*, se ingresará la información exclusivamente en las celdas mencionadas, evitando modificar los demás valores, ya que el modelo presentará errores de lectura (Figura 35).

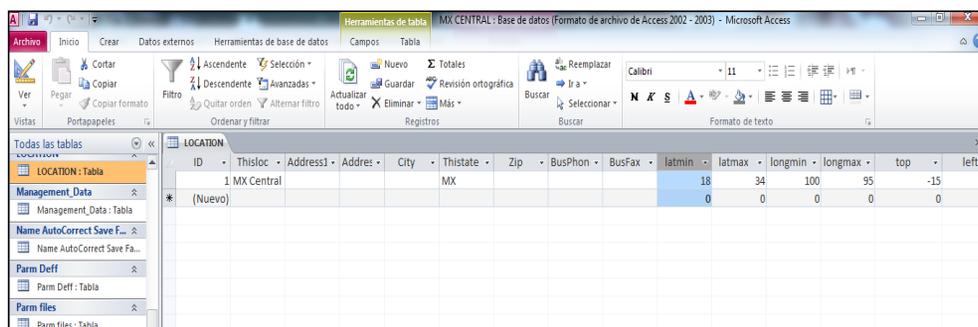


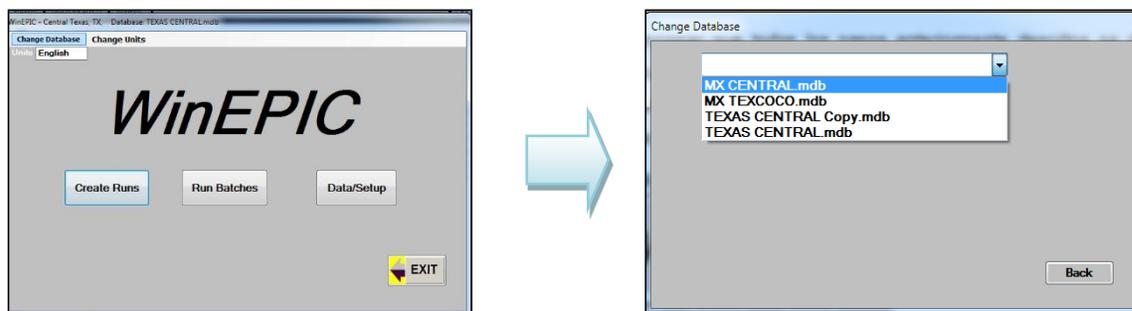
Figura 35. Ubicación geográfica del área de interés.

- **Ubicación estatal y/o municipal:** En la opción *Counties*, se ingresan las iniciales del país (*State*), nombre de la base de datos que se está trabajando (*Location*), nombre del municipio o estado (*County*), un código FIPS, el cual permitirá identificar municipios o estados (Figura 36). Este código consta de 5 dígitos, los 2 primeros corresponden al país, el resto indica el número de municipio o estado y el código FIPS para suelos, conformado por 5 dígitos, los 3 últimos indican la ubicación de la unidad de suelo por municipio y/o estado.

Num	State	Location	County	Fips	SoilFips	State2
60	MX	MX Central	Acambay	99001	99001	MX
1	TX	Central Texas	Archer	48009	48009	TX
2	TX	Central Texas	Bastrop	48021	48021	TX
3	TX	Central Texas	Bell	48027	48027	TX
4	TX	Central Texas	Bosque	48035	48035	TX
5	TX	Central Texas	Brazos	48041	48041	TX
6	TX	Central Texas	Brown	48049	48049	TX
7	TX	Central Texas	Burleson	48051	48051	TX
8	TX	Central Texas	Caldwell	48055	48055	TX

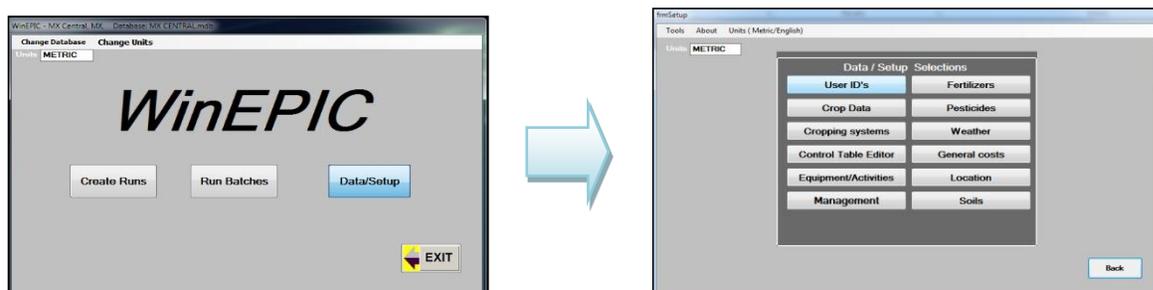
**Figura 36.** Clave de identificación a nivel municipal y/o estatal.

Cabe mencionar que todos los pasos anteriormente descritos se deben editar desde la base de datos (\*.mdb), contenida en la carpeta del modelo. Sin embargo, esta carpeta no debe estar simultáneamente en uso por la interfaz del modelo ya que puede provocar un error de lectura (Figura 37).



**Figura 37.** Opción para seleccionar base de datos (\*.mdb) desde la ventana de WinEPIC.

La información faltante se ingresará desde la interfaz del modelo, como son: nombre de productores, localización de las parcelas, tipos de suelo, manejo agrícola y parámetros del cultivo (Figura 38).



**Figura 38.** Ventana para la entrada y edición de datos en el modelo.

## Consideraciones

**Clima:** Para que WinEPIC reconozca los datos del clima diario (\*.dly) que requiere, es necesario colocar los archivos que contengan tal información en la ruta siguiente: C:\WinEPIC\EPIC y anotar las claves de identificación de estos desde la base de datos de Access (\*.mdb) en el apartado de WEATHER\_LIST/STATION, de lo contrario el modelo generará un error de lectura (Figura 39).

RECNUM	Selected	SITE_NAME	LOOKUP	STAT	COUNTY	FIPS	STATION	ATITUD	LONGITUD	ELEVATION	Y	B	EXI
115	y	MX Central	MX TEJOCOTE_3	MX	Mexico	99001	MX1503	19.902	-99.873	2521	0	0	0
121	y	MX Central	MX MUYTEJE_4	MX	Mexico	99001	MX1504	19.97	-99.954	2589	0	0	0
110	y	MX Central	MX ACAMBAY_5	MX	Mexico	99001	MX1505	19.901	-99.861	2520	0	0	0
122	y	MX Central	MX ACAMBAY_6	MX	Mexico	99001	MX1506	19.909	-99.867	2520	0	0	0
123	y	MX Central	MX TEJOCOTE_7	MX	Mexico	99001	MX1507	19.885	-99.857	2588	0	0	0
124	y	MX Central	MX ACAMBAY_8	MX	Mexico	99001	MX1508	19.907	-99.855	2518	0	0	0
125	y	MX Central	MX ACAMBAY_9	MX	Mexico	99001	MX1509	19.935	-99.91	2520	0	0	0
126	y	MX Central	MX ACAMBAY_10	MX	Mexico	99001	MX1510	19.957	-99.899	2519	0	0	0
127	y	MX Central	MX ACAMBAY_11	MX	Mexico	99001	MX1511	19.917	-99.862	2506	0	0	0
128	y	MX Central	MX ACAMBAY_12	MX	Mexico	99001	MX1512	19.91	-99.878	2519	0	0	0
129	y	MX Central	MX TEJOCOTE_13	MX	Mexico	99001	MX1513	19.907	-99.901	2507	0	0	0
130	y	MX Central	MX ACAMBAY_14	MX	Mexico	99001	MX1514	19.907	-99.862	2520	0	0	0
131	y	MX Central	MX ACAMBAY_15	MX	Mexico	99001	MX1515	19.902	-99.86	2518	0	0	0
132	y	MX Central	MX ACAMBAY_16	MX	Mexico	99001	MX1516	19.905	-99.851	2526	0	0	0
133	y	MX Central	MX ACAMBAY_17	MX	Mexico	99001	MX1517	19.904	-99.866	2539	0	0	0

Figura 39. Edición de información climática en el modelo WinEPIC.

**Viento:** La información de esta variable debe ser editada desde la base de datos de Acces (\*.mdb) que corresponda, considerando en primera instancia ingresar el nombre de la estación en la pestaña WIND LIST, seguida de los datos mensuales de viento en WIND DATA (Figura 40). De tal manera que cuando se requiera la estación de viento más cercana pueda desplegarse, desde la interfaz del modelo, la lista de opciones.

RECNUM	Lookup	Month	UAVM	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
332	MX TOLUCA	1	2.21	0	0	0	0	0	0	0
333	MX TOLUCA	2	2.37	0	0	0	0	0	0	0
334	MX TOLUCA	3	2.4	0	0	0	0	0	0	0
335	MX TOLUCA	4	2.39	0	0	0	0	0	0	0
336	MX TOLUCA	5	2.25	0	0	0	0	0	0	0
337	MX TOLUCA	6	2.19	0	0	0	0	0	0	0
338	MX TOLUCA	7	2.02	0	0	0	0	0	0	0
339	MX TOLUCA	8	2.15	0	0	0	0	0	0	0
340	MX TOLUCA	9	2.03	0	0	0	0	0	0	0
341	MX TOLUCA	10	2.06	0	0	0	0	0	0	0
342	MX TOLUCA	11	1.9	0	0	0	0	0	0	0
343	MX TOLUCA	12	1.77	0	0	0	0	0	0	0
1	OK IDABEL	1	4.29	6	5	10	9	6	3	
2	OK IDABEL	2	4.31	6	5	10	11	8	4	
3	OK IDABEL	3	4.76	5	4	8	9	7	5	

Figura 40. Edición de información de viento en WinEPIC.

**Suelos:** En el caso de la información de suelos, si se requiere añadir más de dos capas, es necesario realizar dicha adición desde la base de datos de Access (\*.mdb) correspondiente (Figura 41). De este modo la interfaz gráfica de WinEPIC reconocerá los datos, de lo contrario, no será posible agregar esta información desde la ventana del modelo.

recnum	FIPS	MUSYM	Lookup	STATE	SSNUM	TEXTID	HYDGRP	Layer_Num1	Z
10955	99001	ADD1	FLUVISOL DISTRICO (ADD1) (SL)	99	ADTX02	SL	B	1	0.3
10959	99001	ADD1	FLUVISOL DISTRICO (ADD1) (SL)	99	ADTX02	SL	B	5	2.24
10958	99001	ADD1	FLUVISOL DISTRICO (ADD1) (SL)	99	ADTX02	SL	B	4	0.68
10956	99001	ADD1	FLUVISOL DISTRICO (ADD1) (SL)	99	ADTX02	SL	B	2	0.51
10957	99001	ADD1	FLUVISOL DISTRICO (ADD1) (SL)	99	ADTX02	SL	B	3	0.58
11000	99001	ADD10	FEOZEM CALCAREO II (ADD10) (CL)	99	ADADAD	CL	D	1	0.2
11001	99001	ADD10	FEOZEM CALCAREO II (ADD10) (CL)	99	ADADAD	CL	D	2	0.4
11002	99001	ADD10	FEOZEM CALCAREO II (ADD10) (CL)	99	ADADAD	CL	D	3	0.7
11003	99001	ADD10	FEOZEM CALCAREO II (ADD10) (CL)	99	ADADAD	CL	D	4	1
11004	99001	ADD10	FEOZEM CALCAREO II (ADD10) (CL)	99	ADADAD	CL	D	5	1.64
11007	99001	ADD11	VERTISOL CROMICO (ADD11) (CL)	99	ADADAD	CL	D	3	1.2
11006	99001	ADD11	VERTISOL CROMICO (ADD11) (CL)	99	ADADAD	CL	D	2	0.4
11005	99001	ADD11	VERTISOL CROMICO (ADD11) (CL)	99	ADADAD	CL	D	1	0.2
11010	99001	ADD12	VERTISOL CROMICO (ADD12) (CL)	99	ADADAD	CL	D	1	0.2
11012	99001	ADD12	VERTISOL CROMICO (ADD12) (CL)	99	ADADAD	CL	D	3	1.2
11011	99001	ADD12	VERTISOL CROMICO (ADD12) (CL)	99	ADADAD	CL	D	2	0.4
11016	99001	ADD13	FLUVISOL EUTRICO (ADD13) (SL)	99	ADADAD	SL	B	4	1.12
11014	99001	ADD13	FLUVISOL EUTRICO (ADD13) (SL)	99	ADADAD	SL	B	2	0.58
11013	99001	ADD13	FLUVISOL EUTRICO (ADD13) (SL)	99	ADADAD	SL	B	1	0.3
11017	99001	ADD13	FLUVISOL EUTRICO (ADD13) (SL)	99	ADADAD	SL	B	5	1.64
11015	99001	ADD13	FLUVISOL EUTRICO (ADD13) (SL)	99	ADADAD	SL	B	3	0.84
11022	99001	ADD14	FLUVISOL EUTRICO (ADD14) (SL)	99	ADADAD	SL	B	5	1.75
11021	99001	ADD14	FLUVISOL EUTRICO (ADD14) (SL)	99	ADADAD	SL	B	4	1.12
11020	99001	ADD14	FLUVISOL EUTRICO (ADD14) (SL)	99	ADADAD	SL	B	3	0.84
11019	99001	ADD14	FLUVISOL EUTRICO (ADD14) (SL)	99	ADADAD	SL	B	2	0.58

**Figura 41.** Edición de capas de suelos desde WinEPIC.

### ANEXO 3. Parcelas empleadas en el ajuste de parámetros.

Id	Clave	Tipo Semilla	Siembra M/D/A	Densidad plantas plt ha <sup>-1</sup>	Semilla kg ha <sup>-1</sup>	Fertilización N-P-K kg ha <sup>-1</sup>	Cosecha M/D/A	Régimen	Rend. Obs. t ha <sup>-1</sup>
1	Maiztem1d	Criollo	04/08/72	65,000	20.0	150-60-00	10/25/72	Temporal	4.8
2	Maiztem7d	H-30	06/11/73	40,000	13.2	60-40-00	11/05/73	Temporal	2.6
3	Maiztem8c	H-30	05/21/73	40,000	13.2	30-40-00	10/28/73	Temporal	3.3
4	Maiztem13e	Criollo	04/14/72	50,000	16.0	90-00-00	10/31/72	Temporal	5.5
5	Maizriego18b	H-149	04/09/90	65,000	20.0	150-50-00	11/28/90	Riego	6.2
6	Maiztemp23	H-30	06/09/72	60,000	19.4	80-50-00	11/04/72	Temporal	3.6
7	Maiztemp20	Criollo	04/05/72	50,000	16.0	60-30-00	10/22/72	Temporal	3.7
8	Maiztem25g	H-30	06/25/77	60,000	19.0	80-40-00	12/13/77	Temporal	2.0
9	Maiztem43b	Criollo	04/14/72	35,000	11.0	90-30-00	10/31/72	Temporal	3.2
10	Maiztem44a	H-30	06/07/72	60,000	19.4	80-75-00	11/01/72	Temporal	3.8
11	Maiztemp52	Criolla Amarillo	04/15/10	32,500	23.0	151-92-0	11/25/10	Temporal	3.5
12	Maiztemp54	Criolla	04/12/10	36,471	23.0	119-23-0	11/20/10	Temporal	6.2
13	Maizriego61	Criolla	03/27/08	52,500	26.0	202-46-0	11/28/08	Punta de riego	4.9
14	Maiztemp62	Criolla	03/26/08	62,500	31.0	155-17-17	11/16/08	Temporal	5.5
15	Maizriego63	Criolla	03/28/08	62,500	31.0	117.5-25.5-25.5	12/11/08	Punta de riego	4.1
16	Maiztemp66	Criolla	05/07/07	73,529	30.0	114-115-60	11/29/07	Temporal	6.0

## ANEXO 4. Encuesta de campo a productores de maíz

	<b>COLEGIO DE POSTGRADUADOS POSGRADO EN HIDROCIENCIAS</b>	
No. de entrevista: _____		Fecha: ___/___/___
<b>1. PRODUCTOR</b>		
Nombre: _____ Apellido paterno: _____ Apellido materno: _____		
Superficie sembrada (Ha): _____		
<b>2. LOCALIZACIÓN</b>		
Localidad: _____ Municipio: _____		
Latitud: _____ Longitud: _____ Atura: _____		
<b>3. LABORES CULTURALES</b>		
<b>I. Preparación del terreno</b>		
Barbecho: Fecha (dd/mm/aaaa) ___/___/___, Costo (\$/ha) _____, Fuente de potencia _____		
Rastra: Fecha (dd/mm/aaaa) ___/___/___, Costo (\$/ha) _____, Fuente de potencia _____		
Surcado: Fecha (dd/mm/aaaa) ___/___/___, Costo (\$/ha) _____, Fuente de potencia _____		
Observaciones: _____		
<b>II. Siembra</b>		
Fecha (dd/mm/aaaa): ___/___/___, Tipo de semilla: _____, Color: _____		
Comprada/propia (C/P): _____, Lugar de adquisición: _____		
Cantidad de semilla (kg/ha): _____, Costo (\$/kg): _____, Distancia entre plantas (m): _____		
Distancia entre surcos (m): _____, Profundidad de siembra (m): _____, Plantas/mata: _____		
Altura de planta (m): _____, Número de mazorcas/planta: _____, Arreglo topológico: _____		
Forma de la siembra (manual/maquinaria): _____, Costo de la siembra (\$/ha): _____		
Observaciones: _____		
<b>III. Riego</b>		
Modalidad (Temporal, Riego, Punta de riego, humedad residual, Riego de auxilio): _____		
Fecha de primer riego (dd/mm/aaaa): ___/___/___, Lámina (cm): _____, Costo (\$): _____		
Fecha de segundo riego (dd/mm/aaaa): ___/___/___, Lámina (cm): _____, Costo (\$): _____		
Fecha de tercer riego (dd/mm/aaaa): ___/___/___, Lámina (cm): _____, Costo (\$): _____		
Fecha de cuarto riego (dd/mm/aaaa): ___/___/___, Lámina (cm): _____, Costo (\$): _____		
Observaciones: _____		
<b>IV. Control de malezas</b>		
Tipo de control: _____, Nombre de herbicida: _____		
Dosis: _____, Costo (\$): _____		
Fecha de la primera limpia (dd/mm/aaaa): ___/___/___, Costo de la primera limpia (\$): _____		
Fecha de la segunda limpia (dd/mm/aaaa): ___/___/___, Costo de segunda limpia (\$): _____		
Total de limpiezas: _____, Costo total por limpiezas (\$/Limpia): _____		
Observaciones: _____		
"Producción de maíz en el Estado de México"		



**V. Control de plagas y enfermedades**

Nombre de plagas: \_\_\_\_\_  
 Tipo de control: \_\_\_\_\_, Nombre del producto: \_\_\_\_\_  
 Fecha de aparición (dd/mm/aaaa): \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_, Fecha de control (dd/mm/aaaa): \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_  
 Dosis: \_\_\_\_\_, Costo de producto (\$): \_\_\_\_\_, Número de aplicaciones: \_\_\_\_\_  
 Impacto en la producción: \_\_\_\_\_, Frecuencia de aparición: \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

**VI. Fertilización**

Fecha de fertilización (dd/mm/aaaa): \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_, Producto químico: \_\_\_\_\_  
 Dosis: \_\_\_\_\_, Costo de producto(\$): \_\_\_\_\_, Número de fertilizaciones: \_\_\_\_\_  
 Producto orgánico: \_\_\_\_\_, Tipo de ganado: \_\_\_\_\_, Costo del producto(\$): \_\_\_\_\_  
 Número de fertilizaciones con producto orgánico: \_\_\_\_\_, Dosis: \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

**VII. Otras labores culturales**

Asociación de cultivos: \_\_\_\_\_, Rotación de cultivos: \_\_\_\_\_  
 Incorporación del rastrojo: \_\_\_\_\_, Quema antes de la siembra: \_\_\_\_\_  
 Deshoje: \_\_\_\_\_, Otras: \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

**VIII. Cosecha**

Fecha (dd/mm/aaaa): \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_, Autoconsumo (%): \_\_\_\_\_, Venta (%): \_\_\_\_\_  
 Precio de venta (\$/ton): \_\_\_\_\_, Lugar de venta: \_\_\_\_\_  
 Rendimiento mínimo (ton/ha): \_\_\_\_\_, Rendimiento máximo (ton/ha): \_\_\_\_\_, Rendimiento medio (ton/ha): \_\_\_\_\_  
 Costo de la cosecha (\$): \_\_\_\_\_, Costo del desgrane (\$): \_\_\_\_\_, Costo de transporte (\$): \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

**4. OBSERVACIONES GENERALES**

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

### ANEXO 5. Parámetros del suelo por capa usados en la simulación con WinEPIC.

MUSYM	Capa	Z m	BD g m <sup>-3</sup>	U m m <sup>-1</sup>	FC m m <sup>-1</sup>	SAN %	SIL %	PH	CBN %	CEC cmol kg <sup>-1</sup>	ROK %	SC mm h <sup>-1</sup>	ALB
ADD1	1	0.30	1.28	0.14	0.60	23	39	5.3	0.87	8.80	0.14	2.8	0.13
	2	0.47	1.31	0.14	0.60	24	44	5.4	0.29	11.20	0.14	3.9	
ADD2	1	0.30	1.28	0.13	0.60	26	34	6.4	1.16	16.00	0.13	2.3	0.13
	2	0.50	1.25	0.13	0.60	22	32	6.6	0.29	18.40	0.13	2.0	
ADD3	1	0.30	1.34	0.14	0.60	31	40	5.3	1.45	9.20	0.14	4.3	0.13
	2	0.60	1.27	0.14	0.60	20	40	5.9	0.73	17.80	0.14	2.7	
	3	1.17	1.20	0.14	0.60	11	31	7.0	0.29	15.20	0.14	2.3	
ADD4	1	0.30	1.46	0.14	0.60	33	54	5.9	1.45	9.20	0.14	20.2	0.13
	2	0.60	1.44	0.14	0.60	49	33	6.7	1.02	9.80	0.14	10.0	
	3	0.93	1.44	0.14	0.60	20	68	7.0	0.44	13.80	0.14	25.3	
ADD5	1	0.30	1.41	0.14	0.60	35	46	6.1	1.02	10.00	0.14	10.3	0.13
	2	0.60	1.38	0.14	0.60	28	52	6.4	0.29	11.20	0.14	10.1	
	3	1.03	1.25	0.14	0.60	15	44	6.7	0.29	18.80	0.14	2.8	
ADD6	1	0.30	1.39	0.14	0.60	28	53	5.2	0.87	6.80	0.14	11.2	0.13
	2	0.60	1.46	0.14	0.60	26	62	5.4	0.44	2.60	0.14	23.9	
	3	1.66	1.23	0.14	0.60	14	40	6.8	0.29	18.00	0.14	2.4	
ADD7	1	0.30	1.23	0.13	0.60	11	43	6.2	1.16	20.40	0.13	2.6	0.13
	2	1.03	1.26	0.13	0.60	20	39	6.2	0.87	16.00	0.13	2.5	
ADD8	1	0.30	1.33	0.25	0.60	35	34	5.4	0.87	5.60	0.25	3.4	0.13
	2	0.60	1.21	0.25	0.60	40	50	5.7	0.44	5.40	0.25	27.1	
	3	1.66	1.22	0.25	0.60	15	35	6.7	0.15	16.80	0.25	2.2	
ADD9	1	0.30	1.35	0.14	0.60	6	75	4.5	1.31	10.20	0.14	15.6	0.13
	2	0.60	1.34	0.14	0.60	8	71	5.2	1.02	12.40	0.14	12.6	
	3	1.17	1.36	0.14	0.60	17	63	6.0	0.58	12.60	0.14	11.9	
ADD10	1	0.30	1.35	0.14	0.60	15	63	6.4	2.03	16.20	0.14	11.0	0.13
	2	1.28	1.32	0.14	0.60	15	58	6.5	0.73	16.60	0.14	6.7	
ADD11	1	0.30	1.39	0.14	0.60	28	53	5.2	0.87	6.80	0.14	11.2	0.13
	2	0.60	1.46	0.14	0.60	26	62	5.4	0.44	2.60	0.14	23.9	
	3	1.28	1.23	0.14	0.60	14	40	6.8	0.29	18.00	0.14	2.4	
ADD12	1	0.30	1.34	0.14	0.60	31	40	5.3	1.45	9.20	0.14	4.3	0.13
	2	0.60	1.27	0.14	0.60	20	40	5.9	0.73	17.80	0.14	2.7	
	3	1.66	1.20	0.14	0.60	11	31	7.0	0.29	15.20	0.14	2.3	
ADD13	1	0.30	1.23	0.13	0.60	11	43	6.2	1.16	20.40	0.13	2.6	0.13
	2	0.86	1.26	0.13	0.60	20	39	6.2	0.87	16.00	0.13	2.5	
ADD14	1	0.30	1.39	0.14	0.60	28	53	5.2	0.87	6.80	0.14	11.2	0.13
	2	0.60	1.46	0.14	0.60	26	62	5.4	0.44	2.60	0.14	23.9	
	3	1.66	1.23	0.14	0.60	14	40	6.8	0.29	18.00	0.14	2.4	
ADD15	1	0.30	1.41	0.14	0.60	35	46	6.1	1.02	10.00	0.14	10.3	0.13
	2	0.60	1.38	0.14	0.60	28	52	6.4	0.29	11.20	0.14	10.1	
	3	0.92	1.25	0.14	0.60	15	44	6.7	0.29	18.80	0.14	2.8	
ADD16	1	0.30	1.23	0.13	0.60	11	43	6.2	1.16	20.40	0.13	2.6	0.13
	2	1.15	1.26	0.13	0.60	20	39	6.2	0.87	16.00	0.13	2.5	
ADD17	1	0.30	1.39	0.14	0.60	28	53	5.2	0.87	6.80	0.14	11.2	0.13
	2	0.60	1.46	0.14	0.60	26	62	5.4	0.44	2.60	0.14	23.9	
	3	1.66	1.23	0.14	0.60	14	40	6.8	0.29	18.00	0.14	2.4	
ADD18	1	0.30	1.54	0.05	0.19	83	14	6.0	0.30	4.50	0.05	61.2	0.15
	2	0.51	1.45	0.14	0.28	64	18	7.9	0.20	14.80	0.14	0.0	
	3	0.58	1.45	0.13	0.28	62	20	8.0	0.30	14.80	0.13	0.0	
	4	0.68	1.45	0.16	0.29	59	18	8.2	0.30	13.20	0.16	0.0	
	5	2.24	1.50	0.16	0.29	60	14	8.4	0.20	8.70	0.16	0.0	

MUSYM=Símbolo del suelo, Z= Profundidad de la superficie al fondo de la capa del suelo, BD= densidad aparente (húmedo), U= Punto de marchitez permanente, FC=Capacidad de campo, SAN=Contenido de arena, SIL= Contenido de arcilla, PH= pH del suelo, CBN= Concentración de carbono orgánico, CEC= Capacidad de intercambio catiónico, ROK=Contenido de fragmento rocoso, SC= Conductividad a saturación, ALB= Albedo del suelo.

Anexo 5. Continuación...

MUSYM	Capa	Z m	BD g m <sup>-3</sup>	U m m <sup>-1</sup>	FC m m <sup>-1</sup>	SAN %	SIL %	PH	CBN %	CEC cmol kg <sup>-1</sup>	ROK %	SC mm h <sup>-1</sup>	ALB
ADD19	1	0.30	1.60	0.03	0.11	89	8	6.0	0.20	7.30	0.03	210.1	0.13
	2	0.41	1.45	0.14	0.28	64	18	7.9	0.20	14.80	0.14	0.0	
	3	0.48	1.45	0.13	0.28	62	20	8.0	0.30	14.80	0.13	0.0	
	4	0.58	1.45	0.16	0.29	59	18	8.2	0.30	13.20	0.16	0.0	
	5	1.44	1.50	0.16	0.29	60	14	8.4	0.20	8.70	0.16	0.0	
ADD20	1	0.30	1.39	0.10	0.24	52	33	5.6	1.00	54.20	0.10	19.6	0.13
	2	0.51	1.50	0.23	0.32	61	26	6.0	0.30	11.20	0.23	0.0	
	3	0.75	1.36	0.24	0.36	59	26	6.1	0.30	11.80	0.24	0.0	
	4	0.99	1.36	0.24	0.36	58	27	6.2	0.30	12.10	0.24	0.0	
	5	2.01	1.50	0.21	0.32	57	27	6.3	0.20	12.60	0.21	0.0	
ADD21	1	0.30	1.30	0.11	0.26	45	35	5.8	1.30	26.3	0.11	13.2	0.13
	2	0.51	1.50	0.23	0.32	61	26	6.0	0.30	11.2	0.23	0.0	
	3	0.75	1.36	0.24	0.36	59	26	6.1	0.30	11.8	0.24	0.0	
	4	0.99	1.36	0.24	0.36	58	27	6.2	0.30	12.1	0.24	0.0	
	5	1.51	1.50	0.21	0.32	57	27	6.3	0.20	12.6	0.21	0.0	
ADD22	1	0.30	1.60	0.03	0.11	92	5	6.9	0.30	8.7	0.03	210.0	0.13
	2	0.58	1.46	0.12	0.27	62	18	6.1	0.10	6.5	0.12	0.0	
	3	0.92	1.53	0.10	0.24	63	16	6.2	0.10	6.8	0.10	0.0	
	4	1.14	1.60	0.09	0.22	63	14	6.3	0.10	7.0	0.09	0.0	
	5	2.24	1.60	0.06	0.20	64	13	6.4	0.00	7.3	0.06	0.0	
ADD23	1	0.30	1.48	0.08	0.22	72	23	6.6	0.60	18.6	0.08	25.9	0.13
	2	0.58	1.46	0.12	0.27	62	18	6.1	0.10	6.5	0.12	0.0	
	3	0.84	1.53	0.10	0.24	63	16	6.2	0.10	6.8	0.10	0.0	
	4	1.12	1.60	0.09	0.22	63	14	6.3	0.10	7.0	0.09	0.0	
	5	2.24	1.60	0.06	0.20	64	13	6.4	0.00	7.3	0.06	0.0	
ADD24	1	0.03	1.15	0.16	0.30	25	62	6.9	1.10	48.1	0.16	6.9	0.14
	2	0.06	1.25	0.25	0.39	26	40	6.7	0.80	48.1	0.25	2.3	
	3	0.09	1.30	0.27	0.41	36	37	7.0	0.70	48.1	0.27	13.2	
	4	0.12	1.30	0.27	0.41	36	40	6.9	0.80	48.1	0.27	13.2	
	5	0.40	1.30	0.27	0.41	36	40	6.9	0.70	48.1	0.27	13.2	
ADD25	1	0.20	1.30	0.16	0.30	41	45	7.7	0.30	48.2	0.16	13.2	0.13
	2	0.40	1.30	0.08	0.35	46	39	8.3	0.60	48.2	0.08	13.2	
	3	0.70	1.30	0.08	0.37	48	35	9.0	0.30	48.2	0.08	13.2	
	4	2.24	1.40	0.08	0.32	52	33	9.0	0.20	48.2	0.08	20.0	
ADD26	1	0.20	1.30	0.28	0.53	29	47	6.8	0.30	35.6	0.28	13.2	0.13
	2	0.40	1.25	0.25	0.39	26	40	6.7	0.40	0.0	0.25	2.3	
	3	0.70	1.30	0.27	0.41	36	37	7.0	0.40	0.0	0.27	13.2	
	4	1.00	1.30	0.25	0.41	36	40	6.9	0.50	0.0	0.25	13.2	
	5	2.24	1.30	0.25	0.41	36	40	6.9	0.50	0.0	0.25	13.2	
ADD27	1	0.20	1.60	0.05	0.09	92	7	7.1	0.30	18.8	0.05	210.1	0.13
	2	0.40	1.60	0.03	0.10	90	6	7.5	0.30	18.8	0.03	210.1	
	3	0.70	1.60	0.03	0.11	92	3	8.0	0.20	18.8	0.03	121.1	
	4	1.00	1.60	0.04	0.13	90	6	8.2	0.10	18.8	0.04	121.1	
	5	1.64	1.60	0.04	0.14	92	6	8.6	0.20	18.8	0.04	121.1	
ADD28	1	0.20	1.54	0.19	0.36	80	15	7.2	0.20	21.3	0.19	61.2	0.16
	2	0.40	1.54	0.05	0.13	77	19	7.7	0.30	0.0	0.05	61.2	
	3	1.20	1.54	0.03	0.14	82	8	8.2	0.30	0.0	0.03	61.2	
ADD29	1	0.20	1.48	0.07	0.13	72	23	7.2	0.40	23.2	0.07	25.9	0.13
	2	0.40	1.54	0.04	0.12	82	11	7.4	0.20	23.2	0.04	25.9	
	3	1.20	1.54	0.04	0.26	85	11	8.2	0.30	23.2	0.04	61.2	
ADD30	1	0.30	1.54	0.05	0.19	77	17	6.7	0.40	15.0	0.05	61.2	0.15
	2	0.58	1.46	0.12	0.27	62	18	6.1	0.10	6.5	0.12	0.0	
	3	0.84	1.53	0.10	0.24	63	16	6.2	0.10	6.8	0.10	0.0	
	4	1.12	1.60	0.09	0.22	63	14	6.3	0.10	7.0	0.09	0.0	
	5	1.64	1.60	0.06	0.20	64	13	6.4	0.00	7.3	0.06	0.0	
ADD31	1	0.30	1.30	0.11	0.26	49	41	6.4	0.50	15.5	0.11	13.2	0.13
	2	0.58	1.46	0.12	0.27	62	18	6.1	0.10	6.5	0.12	0.0	
	3	0.84	1.53	0.10	0.24	63	16	6.2	0.10	6.8	0.10	0.0	
	4	1.12	1.60	0.09	0.22	63	14	6.3	0.10	7.0	0.09	0.0	
	5	1.75	1.60	0.06	0.20	64	13	6.4	0.00	7.3	0.06	0.0	

Anexo 5. Continuación...

MUSYM	Capa	Z m	BD g m <sup>-3</sup>	U m m <sup>-1</sup>	FC m m <sup>-1</sup>	SAN %	SIL %	PH	CBN %	CEC cmol kg <sup>-1</sup>	ROK %	SC mm h <sup>-1</sup>	ALB
ADD32	1	0.30	1.48	0.08	0.22	59	32	6.8	0.70	15.9	0.08	25.9	0.13
	2	0.58	1.46	0.12	0.27	62	18	6.1	0.10	6.5	0.12	0.0	
	3	0.82	1.53	0.10	0.24	63	16	6.2	0.10	6.8	0.10	0.0	
	4	1.10	1.60	0.09	0.22	63	14	6.3	0.10	7.0	0.09	0.0	
	5	2.24	1.60	0.06	0.20	64	13	6.4	0.00	7.3	0.06	0.0	
ADD33	1	0.30	1.30	0.11	0.26	42	48	7.5	1.40	3.1	0.11	13.2	0.13
	2	0.58	1.46	0.12	0.27	62	18	6.1	0.10	6.5	0.12	0.0	
	3	0.82	1.53	0.10	0.24	63	16	6.2	0.10	6.8	0.10	0.0	
	4	1.10	1.60	0.09	0.22	63	14	6.3	0.10	7.0	0.09	0.0	
	5	2.24	1.60	0.06	0.20	64	13	6.4	0.00	7.3	0.06	0.0	
ADD34	1	0.20	1.48	0.09	0.17	63	34	6.3	0.40	35.2	0.09	25.9	0.13
	2	0.40	1.48	0.05	0.19	64	16	6.6	0.40	35.2	0.05	25.9	
	3	1.42	1.48	0.09	0.31	55	26	6.7	0.20	35.2	0.09	25.9	
ADD35	1	0.20	1.17	0.14	0.31	19	26	7.1	0.50	22.9	0.14	0.5	0.12
	2	0.40	1.20	0.15	0.31	17	26	7.2	0.40	28.4	0.15	0.5	
	3	0.60	1.28	0.14	0.28	15	27	7.4	0.30	30.8	0.14	0.5	
	4	0.86	1.11	0.16	0.36	50	19	7.7	1.40	32.5	0.16	8.0	
	5	1.17	1.24	0.15	0.33	51	18	7.9	0.20	34.2	0.15	8.0	
	6	1.64	1.33	0.15	0.29	52	17	8.1	0.20	35.6	0.15	8.0	
ADD36	1	0.09	1.48	0.08	0.22	70	22	6.1	0.40	9.7	0.08	25.9	0.13
	2	0.18	1.63	0.22	0.28	51	29	7.3	0.20	14.5	0.22	0.0	
	3	0.27	1.76	0.15	0.19	47	31	7.6	0.10	15.9	0.15	0.0	
	4	0.36	1.60	0.13	0.23	44	32	7.7	0.10	16.9	0.13	0.0	
	5	0.66	1.60	0.13	0.23	42	33	7.9	0.00	17.6	0.13	0.0	
ADD37	1	0.30	1.48	0.08	0.22	72	21	6.2	0.50	13.2	0.08	25.9	0.13
	2	0.53	1.50	0.14	0.27	67	22	6.5	0.20	7.9	0.14	0.0	
	3	0.84	1.50	0.22	0.32	62	25	6.7	0.20	8.9	0.22	0.0	
	4	1.22	1.50	0.17	0.27	57	27	6.0	0.10	9.6	0.17	0.0	
	5	2.24	1.50	0.19	0.30	54	28	7.0	0.10	10.1	0.19	0.0	
ADD38	1	0.16	1.30	0.11	0.26	38	45	6.5	0.70	27.0	0.11	13.2	0.13
	2	0.32	1.63	0.22	0.28	51	29	7.3	0.20	14.5	0.22	0.0	
	3	0.48	1.76	0.15	0.19	47	31	7.6	0.10	2.0	0.15	0.0	
	4	0.64	1.60	0.13	0.23	44	32	7.7	0.10	16.9	0.13	0.0	
	5	1.04	1.60	0.13	0.23	42	33	7.9	0.00	17.6	0.13	0.0	
ADD39	1	0.30	1.30	0.11	0.26	38	45	6.5	0.70	27.0	0.11	13.2	0.13
	2	0.64	1.63	0.22	0.28	51	29	7.3	0.20	14.5	0.22	0.0	
	3	1.02	1.76	0.15	0.19	47	31	7.6	0.10	15.9	0.15	0.0	
	4	1.22	1.60	0.13	0.23	44	32	7.7	0.10	16.9	0.13	0.0	
	5	1.61	1.60	0.13	0.23	42	33	7.9	0.00	17.6	0.13	0.0	
ADD40	1	0.01	1.48	0.20	0.38	71	25	7.9	0.50	27.1	0.20	25.9	0.13
	2	0.02	1.30	0.15	0.30	51	37	7.4	0.40	0.0	0.15	13.2	
	3	0.03	1.30	0.06	0.35	44	45	7.6	0.00	0.0	0.06	13.2	
	4	0.04	1.30	0.06	0.35	48	36	7.9	0.00	0.0	0.06	13.2	
	5	0.30	1.30	0.08	0.37	44	40	8.1	0.20	0.0	0.08	13.2	
ADD41	1	0.08	1.48	0.20	0.38	71	25	7.9	0.50	27.1	0.20	25.9	0.14
	2	0.16	1.30	0.10	0.29	51	38	7.1	0.40	42.7	0.10	13.2	
	3	0.24	1.30	0.12	0.32	44	40	7.2	0.70	42.7	0.12	13.2	
	4	0.32	1.30	0.23	0.39	43	36	7.5	0.50	42.7	0.23	13.2	
	5	0.57	1.30	0.31	0.45	41	39	7.5	0.40	42.7	0.31	13.2	
ADD42	1	0.20	1.56	0.09	0.20	66	12	7.1	0.30	14.5	0.09	30.1	0.13
	2	1.64	1.50	0.11	0.23	55	23	7.2	0.80	19.3	0.11	20.8	
ADD43	1	0.25	1.56	0.09	0.20	50	40	6.7	0.40	14.5	0.09	30.1	0.13
	2	2.24	1.28	0.11	0.22	55	25	7.2	0.80	19.3	0.11	20.8	
ADD44	1	0.20	1.36	0.11	0.22	59	23	6.6	0.40	14.5	0.11	28.0	0.13
	2	1.75	1.28	0.09	0.20	58	28	7.2	0.80	19.3	0.09	20.8	
ADD45	1	0.20	1.36	0.10	0.19	55	19	7.2	0.50	13.3	0.10	21.5	0.13
	2	2.24	1.28	0.11	0.22	55	25	7.2	0.80	19.3	0.11	20.8	
ADD46	1	0.20	1.36	0.10	0.19	55	19	7.2	0.50	13.3	0.10	24.5	0.13
	2	0.40	1.28	0.11	0.22	55	25	7.2	0.80	19.3	0.11	20.8	

Anexo 5. Continuación...

MUSYM	Capa	Z m	BD g m <sup>-3</sup>	U m m <sup>-1</sup>	FC m m <sup>-1</sup>	SAN %	SIL %	PH	CBN %	CEC cmol kg <sup>-1</sup>	ROK %	SC mm h <sup>-1</sup>	ALB
ADD47	1	0.22	1.56	0.09	0.20	66	12	6.9	0.40	14.5	0.09	26.0	0.13
	2	0.31	1.50	0.11	0.23	57	22	6.9	0.20	19.3	0.11	20.8	
	3	0.45	1.50	0.11	0.23	44	24	6.9	0.10	19.3	0.11	0.1	
ADD48	1	0.22	1.56	0.09	0.20	66	12	6.9	0.40	14.5	0.09	26.0	0.13
	2	0.31	1.50	0.11	0.23	57	22	6.9	0.20	19.3	0.11	20.8	
	3	2.24	1.50	0.11	0.23	74	24	6.9	0.10	19.3	0.11	0.1	
ADD49	1	0.20	1.39	0.10	0.22	62	22	6.9	1.30	13.3	0.10	24.5	0.13
	2	0.40	1.32	0.12	0.22	59	25	6.5	1.00	19.3	0.12	20.8	
	3	2.24	1.25	0.13	0.23	58	27	8.9	0.70	19.3	0.13	20.8	
ADD50	1	0.15	1.28	0.10	0.19	58	25	7.6	0.80	20.9	0.10	50.0	0.13
	2	0.30	1.28	0.10	0.20	59	23	7.7	0.70	24.3	0.10	50.0	
	3	0.60	1.32	0.10	0.20	52	29	7.7	0.60	27.3	0.10	50.0	
	4	0.90	1.27	0.12	0.22	56	24	8.0	0.20	30.4	0.12	50.0	
	5	1.20	1.25	0.13	0.24	56	24	8.0	0.10	32.0	0.13	50.0	
	6	2.24	1.60	0.16	0.25	37	19	8.6	0.00	32.9	0.16	50.0	
ADD51	1	0.20	1.48	0.25	0.46	64	34	6.8	0.20	24.8	0.25	25.9	0.13
	2	1.12	1.42	0.05	0.23	57	22	6.7	0.40	0.0	0.05	1.5	
ADD52	1	0.20	1.16	0.15	0.25	52	19	6.5	0.70	14.5	0.15	26.0	0.13
	2	0.45	0.93	0.11	0.22	57	22	6.6	0.20	19.3	0.11	20.8	
ADD53	1	0.20	1.30	0.12	0.23	51	39	7.2	0.30	34.8	0.12	13.2	0.13
	2	0.40	1.48	0.09	0.28	57	36	8.0	0.50	34.8	0.09	25.9	
	3	0.70	1.25	0.08	0.33	42	49	8.0	0.30	34.8	0.08	11.0	
	4	1.00	1.20	0.22	0.43	28	50	8.4	0.20	34.8	0.22	9.0	
	5	1.64	1.25	0.15	0.46	28	41	8.5	0.20	34.8	0.15	2.3	
ADD54	1	0.20	1.48	0.22	0.37	53	36	7.8	0.50	54.6	0.22	25.9	0.13
	2	0.40	1.48	0.07	0.25	57	34	8.4	0.60	0.0	0.07	25.9	
	3	0.70	1.48	0.08	0.34	54	34	8.5	0.40	0.0	0.08	25.9	
	4	1.00	1.30	0.17	0.37	46	45	8.6	0.30	0.0	0.17	13.2	
	5	1.42	1.30	0.08	0.37	46	37	8.7	0.20	0.0	0.08	13.2	
ADD55	1	0.20	1.19	0.13	0.24	46	28	6.3	0.70	14.5	0.13	26.0	0.13
	2	0.45	1.09	0.11	0.22	55	25	7.7	0.80	19.3	0.11	20.8	
ADD56	1	0.15	1.19	0.22	0.32	34	21	7.1	0.90	37.3	0.22	13.6	0.12
	2	0.30	1.39	0.18	0.27	34	19	7.5	0.90	36.5	0.18	13.6	
	3	1.75	1.17	0.25	0.38	22	21	6.7	0.80	43.7	0.25	13.6	
ADD57	1	0.15	1.38	0.21	0.31	24	23	7.1	1.40	37.3	0.21	13.6	0.12
	2	0.30	1.19	0.25	0.38	21	23	7.3	1.00	46.2	0.25	13.6	
	3	2.24	1.17	0.25	0.38	22	21	6.7	0.80	43.7	0.25	13.6	
ADD58	1	0.30	1.48	0.08	0.22	68	25	6.8	0.30	1.1	0.08	25.9	0.13
	2	0.53	1.50	0.14	0.27	67	22	6.5	0.20	7.9	0.14	0.0	
	3	0.84	1.50	0.22	0.32	62	25	6.7	0.20	8.9	0.22	0.0	
	4	1.15	1.50	0.17	0.27	57	27	6.9	0.10	9.6	0.17	0.0	
	5	1.58	1.50	0.19	0.30	54	28	7.0	0.10	10.1	0.19	0.0	
ADD59	1	0.30	1.48	0.08	0.22	67	23	6.3	0.50	13.8	0.08	25.9	0.13
	2	0.56	1.55	0.13	0.25	72	19	5.9	0.20	6.0	0.13	0.0	
	3	0.91	1.55	0.14	0.26	70	20	6.1	0.20	6.5	0.14	0.0	
	4	1.04	1.60	0.13	0.25	69	21	6.1	0.10	6.7	0.13	0.0	
	5	1.44	1.60	0.12	0.23	68	21	6.2	0.10	6.9	0.12	0.0	
ADD60	1	0.30	1.54	0.05	0.19	84	12	6.5	0.40	2.2	0.05	61.2	0.15
	2	0.64	1.63	0.22	0.28	51	29	7.3	0.20	14.5	0.22	0.0	
	3	1.02	1.76	0.15	0.19	47	31	7.6	0.10	15.9	0.15	0.0	
	4	1.12	1.60	0.13	0.23	44	32	7.7	0.10	16.9	0.13	0.0	
	5	1.58	1.60	0.13	0.23	42	33	7.9	0.00	17.6	0.13	0.0	
ADD61	1	0.20	1.30	0.21	0.45	37	46	7.5	0.50	42.5	0.21	13.2	0.13
	2	0.40	1.30	0.21	0.33	44	40	7.8	0.40	42.5	0.21	13.2	
	3	0.70	1.30	0.29	0.43	26	48	8.0	0.30	42.5	0.29	13.2	
	4	1.00	1.00	0.36	0.50	23	34	8.2	0.30	42.5	0.36	0.5	
	5	1.64	1.30	0.12	0.41	40	37	8.6	0.40	42.5	0.12	13.2	

Anexo 5. Continuación...

MUSYM	Capa	Z m	BD g m <sup>-3</sup>	U m m <sup>-1</sup>	FC m m <sup>-1</sup>	SAN %	SIL %	PH	CBN %	CEC cmol kg <sup>-1</sup>	ROK %	SC mm h <sup>-1</sup>	ALB
ADD62	1	0.20	1.15	0.08	0.16	23	65	7.1	0.40	55.6	0.08	6.9	0.14
	2	0.40	1.25	0.28	0.42	26	40	7.3	0.50	55.6	0.28	2.3	
	3	0.70	1.25	0.30	0.56	26	36	7.8	0.40	55.6	0.30	2.3	
	4	1.00	1.30	0.26	0.40	37	41	8.4	0.30	55.6	0.26	13.2	
	5	2.24	1.40	0.06	0.33	56	23	8.0	0.30	55.6	0.06	10.0	
ADD63	1	0.30	1.48	0.08	0.22	68	22	5.4	0.40	1.5	0.08	25.9	0.13
	2	0.51	1.50	0.23	0.32	61	26	6.0	0.30	11.2	0.23	0.0	
	3	0.75	1.36	0.24	0.36	59	26	6.1	0.30	11.8	0.24	0.0	
	4	0.99	1.36	0.24	0.36	58	27	6.2	0.30	12.1	0.24	0.0	
	5	2.24	1.50	0.21	0.32	57	27	6.3	0.20	12.6	0.21	0.0	
ADD64	1	0.30	1.30	0.11	0.26	48	38	6.0	0.70	2.3	0.11	13.2	0.13
	2	0.51	1.50	0.23	0.32	61	26	6.0	0.30	11.2	0.23	0.0	
	3	0.75	1.36	0.24	0.36	59	26	6.1	0.30	11.8	0.24	0.0	
	4	0.99	1.36	0.24	0.36	58	27	6.2	0.30	12.1	0.24	0.0	
	5	1.29	1.50	0.21	0.32	57	27	6.3	0.20	12.6	0.21	0.0	
ADD65	1	0.30	1.54	0.05	0.19	83	8	6.1	0.70	9.3	0.05	61.2	0.13
	2	0.51	1.50	0.23	0.32	61	26	6.0	0.30	11.2	0.23	0.0	
	3	0.75	1.36	0.24	0.36	59	26	6.1	0.30	11.8	0.24	0.0	
	4	0.80	1.36	0.24	0.36	58	27	6.2	0.30	12.1	0.24	0.0	
	5	1.20	1.50	0.21	0.32	57	27	6.3	0.20	12.6	0.21	0.0	
ADD66	1	0.20	1.48	0.19	0.36	59	29	7.6	0.60	41.3	0.19	25.9	0.13
	2	0.40	1.48	0.03	0.35	59	27	8.3	0.60	0.0	0.03	25.9	
	3	0.70	1.30	0.32	0.48	41	48	8.5	0.60	0.0	0.32	13.2	
	4	1.00	1.30	0.08	0.36	49	32	9.0	0.50	0.0	0.08	13.2	
	5	2.01	1.48	0.08	0.35	54	35	9.0	0.40	0.0	0.08	25.9	
ADD67	1	0.20	1.48	0.13	0.27	67	25	7.0	0.20	29.7	0.13	25.9	0.13
	2	0.40	1.48	0.06	0.17	64	17	6.8	0.40	0.0	0.06	25.9	
	3	1.51	1.48	0.05	0.19	61	20	7.0	0.60	0.0	0.05	25.9	

## ANEXO 6. Parcelas productoras de maíz utilizadas en la etapa de simulación del modelo

Id	Clave	Tipo Semilla	Fecha siembra	Densidad plantas	Semilla	Fertilización N-P-K	Fecha de cosecha	Régimen	Manejo	Rend. Obs.	Rend. Sim. MSDOS	Rend. Sim. WinEPIC	WinEPIC	
			M/D/A	plt ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	M/D/A			t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	No. corrida	
1	Maiztemp1	Criollo	04/08/72	50,000	16	120-60-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.03	4.91	4.86	1	210
2	Maiztem1a	Criollo	04/08/72	65,000	20	120-60-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.52	4.91	4.40	2	418
3	Maiztem1b	Criollo	04/08/72	80,000	25	120-60-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.61	4.91	5.59	3	264
4	Maiztem1c	Criollo	04/08/72	65,000	20	120-90-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.86	4.91	5.27	4	265
5	Maiztem1d	Criollo	04/08/72	65,000	20	150-60-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.80	4.91	5.27	5	266
6	Maiztem1f	Criollo	04/08/72	35,000	11	90-30-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.89	4.72	3.82	7	268
7	Maiztem1g	Criollo	04/08/72	50,000	16	90-30-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.70	4.72	4.86	8	269
8	Maiztem1h	Criollo	04/08/72	65,000	20	90-30-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.86	4.72	5.27	9	270
9	Maiztem1i	Criollo	04/08/72	50,000	16	90-60-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.81	4.72	4.86	10	271
10	Maiztem1j	Criollo	04/08/72	65,000	20	90-60-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.55	4.72	5.27	11	272
11	Maiztem1k	Criollo	04/08/72	50,000	16	120-30-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.24	4.91	4.86	12	273
12	Maiztem1l	Criollo	04/08/72	65,000	20	120-30-00	10/25/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.20	4.91	5.27	13	274
13	Maiztem2a	Criollo	04/10/72	50,000	16	120-60-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.84	3.85	4.73	14	288
14	Maiztem2b	Criollo	04/10/72	65,000	20	120-60-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.94	3.85	5.14	16	289
15	Maiztem2c	Criollo	04/10/72	80,000	25	120-60-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.74	3.85	5.43	17	290
16	Maiztem2d	Criollo	04/10/72	65,000	20	120-90-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.45	3.85	5.14	18	291
17	Maiztem2e	Criollo	04/10/72	65,000	20	150-60-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.37	3.85	5.14	19	292
18	Maiztem2f	Criollo	04/10/72	50,000	16	90-00-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.08	3.72	4.73	20	293
19	Maiztem2g	Criollo	04/10/72	35,000	11	90-30-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.98	3.72	3.73	21	294
20	Maiztem2h	Criollo	04/10/72	50,000	16	90-30-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.44	3.72	4.73	22	295
21	Maiztem2i	Criollo	04/10/72	65,000	20	90-30-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.75	3.72	5.14	23	296
22	Maiztem2j	Criollo	04/10/72	50,000	16	90-60-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.43	3.72	4.73	24	297
23	Maiztem2k	Criollo	04/10/72	65,000	20	90-60-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.78	3.72	5.14	25	298
24	Maiztem2l	Criollo	04/10/72	65,000	20	120-30-00	10/27/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.29	3.85	5.14	26	299
25	Maiztem3a	H-28	04/04/72	50,000	16	90-00-00	10/21/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.15	5.14	4.90	28	300
26	Maiztemp4	H-28	04/01/72	50,000	16	60-30-00	10/18/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.28	5.19	4.85	31	213
27	Maiztem4a	H-28	04/01/72	65,000	20	120-60-00	10/18/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.90	5.36	5.43	32	303
28	Maiztem4b	H-28	04/01/72	65,000	20	120-90-00	10/18/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.93	5.36	5.43	33	304
29	Maiztem4c	H-28	04/01/72	65,000	20	150-60-00	10/18/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.09	5.36	5.43	34	305
30	Maiztem4d	H-28	04/01/72	50,000	16	90-60-00	10/18/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.67	5.34	4.85	35	306
31	Maiztem4e	H-28	04/01/72	65,000	20	90-60-00	10/18/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.47	5.34	5.43	36	307
32	Maiztem4f	H-28	04/01/72	65,000	20	120-30-00	10/18/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.51	5.36	5.43	37	308
33	Maiztem4g	H-28	04/01/72	65,000	20	120-60-00	10/18/72	Temporal	Labranza convencional, estiercol fresco (10 ton)	5.71	5.36	5.43	38	309

Anexo 6. Continuación...

Id	Clave	Tipo Semilla	Fecha siembra	Densidad plantas	Semilla	Fertilización N-P-K	Fecha de cosecha	Régimen	Manejo	Rend. Obs.	Rend. Sim. MSDOS	Rend. Sim. WinEPIC	WinEPIC	
			M/D/A	plt ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	M/D/A			t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	No. corrida	
34	Maiztemp5	H-129	04/20/72	50,000	16	60-30-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.75	5.25	4.11	39	214
35	Maiztem5a	H-129	04/20/72	50,000	16	120-60-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	6.52	6.61	6.36	40	310
36	Maiztem5b	H-129	04/20/72	65,000	20	120-60-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.62	6.61	6.64	41	311
37	Maiztem5c	H-129	04/20/72	80,000	25	120-60-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.50	6.61	6.93	42	312
38	Maiztem5d	H-129	04/20/72	65,000	20	120-90-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	6.91	6.61	6.64	43	313
39	Maiztem5e	H-129	04/20/72	65,000	20	150-60-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	6.66	7.11	6.64	44	314
40	Maiztem5f	H-129	04/20/72	50,000	16	90-00-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.86	5.98	6.36	45	315
41	Maiztem5g	H-129	04/20/72	35,000	11	90-30-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.31	5.98	5.88	46	316
42	Maiztem5h	H-129	04/20/72	50,000	16	90-30-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.16	5.98	6.36	47	317
43	Maiztem5i	H-129	04/20/72	65,000	20	90-30-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.13	5.98	6.64	48	318
44	Maiztem5j	H-129	04/20/72	50,000	16	90-60-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.22	5.98	6.36	49	319
45	Maiztem5k	H-129	04/20/72	50,000	16	120-30-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	6.13	6.61	6.36	50	320
46	Maiztem5l	H-129	04/20/72	65,000	20	120-30-00	11/06/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.91	6.61	6.64	51	321
47	Maiztemp7	H-30	06/11/73	30,000	10	30-20-00	11/05/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.40	1.67	1.51	67	216
48	Maiztem7a	H-30	06/11/73	40,000	13	30-00-00	11/05/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	1.91	1.67	1.70	68	341
49	Maiztem7b	H-30	06/11/73	40,000	13	0-20-00	11/05/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.49	1.99	1.70	69	342
50	Maiztem7c	H-30	06/11/73	50,000	16	60-40-00	11/05/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.44	1.99	1.82	70	343
51	Maiztem7d	H-30	06/11/73	40,000	13	60-40-00	11/05/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.55	1.96	1.70	71	344
52	Maiztem7e	H-30	06/11/73	40,000	13	60-20-00	11/05/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.53	1.96	1.70	72	345
53	Maiztemp8	H-30	05/21/73	30,000	10	30-20-00	10/28/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.77	3.63	4.09	73	217
54	Maiztem8a	H-30	05/21/73	50,000	16	60-40-00	10/28/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.49	4.45	4.39	74	346
55	Maiztem8b	H-30	05/21/73	50,000	16	30-40-00	10/28/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.59	3.63	4.39	75	347
56	Maiztem8c	H-30	05/21/73	40,000	13	30-40-00	10/28/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.30	3.63	4.30	76	348
57	Maiztem8d	H-30	05/21/73	50,000	16	30-20-00	10/28/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.33	3.63	4.39	77	349
58	Maiztem8e	H-30	05/21/73	40,000	13	30-20-00	10/28/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.63	3.63	4.30	78	350
59	Maiztem8f	H-30	05/21/73	60,000	19	60-40-00	10/28/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.30	4.46	4.53	79	351
60	Maiztemp9	H-30	06/02/72	60,000	19	80-50-00	10/23/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.09	4.12	5.72	80	218
61	Maiztem9a	H-30	06/02/72	60,000	19	120-50-00	10/23/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.13	4.32	5.72	81	352
62	Maiztem9b	H-30	06/02/72	45,000	15	0-25-00	10/23/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.32	4.32	5.62	82	353
63	Maiztem9c	H-30	06/02/72	60,000	19	80-50-00	10/23/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.65	4.32	5.72	83	354
64	Maiztem9d	H-30	06/02/72	60,000	19	80-50-00	10/23/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.90	4.32	5.72	84	355
65	Maiztem9e	H-30	06/02/72	60,000	19	80-50-00	10/23/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.10	4.12	5.72	85	356
66	Maiztemp10	H-30	05/02/73	50,000	16	60-60-00	10/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.82	3.16	3.45	87	219
67	Maiztem10a	H-30	05/02/73	50,000	16	90-40-00	10/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.56	3.25	3.45	88	358
68	Maiztem10b	H-30	05/02/73	50,000	16	60-40-00	10/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.74	3.25	3.45	89	359
69	Maiztem10c	H-30	05/02/73	40,000	13	60-40-00	10/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.88	3.16	3.29	90	360
70	Maiztem10d	H-30	05/02/73	50,000	16	60-20-00	10/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.83	3.16	3.45	91	361
71	Maiztem10e	H-30	05/02/73	40,000	13	60-20-00	10/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.83	3.16	3.29	92	362

Anexo 6. Continuación...

Id	Clave	Tipo Semilla	Fecha siembra	Densidad plantas	Semilla	Fertilización N-P-K	Fecha de cosecha	Régimen	Manejo	Rend. Obs.	Rend. Sim. MSDOS	Rend. Sim. WinEPIC	WinEPIC	
			M/D/A	plt ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	M/D/A			t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	No. corrida	
72	Maiztemp11	H-30	05/03/72	60,000	19	40-50-00	09/21/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.20	2.82	3.11	93	363
73	Maiztem11a	H-30	05/03/72	60,000	19	40-25-00	09/21/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.38	2.82	3.11	94	364
74	Maiztemp12	H-30	05/07/73	50,000	16	60-60-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.69	3.44	3.73	95	588
75	Maiztem12a	H-30	05/07/73	30,000	10	30-20-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.11	3.03	2.87	96	579
76	Maiztem12b	H-30	05/07/73	40,000	13	30-00-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.20	3.03	3.34	97	580
77	Maiztem12c	H-30	05/07/73	50,000	16	60-40-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.93	3.6	3.73	98	581
78	Maiztem12d	H-30	05/07/73	40,000	13	60-40-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.82	3.44	3.34	99	582
79	Maiztem12e	H-30	05/07/73	50,000	16	60-40-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.74	3.44	3.73	100	583
80	Maiztem12f	H-30	05/07/73	50,000	16	30-40-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.78	3.03	3.73	101	587
81	Maiztem12g	H-30	05/07/73	40,000	13	30-40-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.36	3.03	3.34	102	584
82	Maiztem12h	H-30	05/07/73	40,000	13	30-20-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.06	3.03	3.34	103	585
83	Maiztem12i	H-30	05/07/73	60,000	19	60-40-00	10/12/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.85	3.44	4.04	104	586
84	Maizrieg18b	H-149	04/09/90	65,000	20	150-50-00	11/28/90	Riego	Labranza convencional, riego, rastrojo 5 t/ha, estiércol 10 t/ha	6.15	6.40	5.42	148	575
85	Maiztemp20	Criollo	04/05/72	50,000	16	60-30-00	10/22/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.72	4.39	3.71	154	229
86	Maiztem20c	Criollo	04/05/72	80,000	25	120-60-00	10/22/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.74	5.09	4.08	157	421
87	Maiztem20h	Criollo	04/05/72	50,000	16	90-30-00	10/22/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.09	4.78	3.71	162	426
88	Maiztem20i	Criollo	04/05/72	65,000	20	90-30-00	10/22/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.35	4.78	3.89	163	427
89	Maiztem20m	Criollo	04/05/72	65,000	20	120-30-00	10/22/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.34	5.09	3.89	167	431
90	Maiztemp24	H-30	06/12/73	50,000	16	60-40-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.39	1.93	2.20	186	261
91	Maiztem24a	H-30	06/12/73	50,000	16	60-60-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.46	1.93	2.20	187	447
92	Maiztem24b	H-30	06/12/73	50,000	16	90-40-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.18	1.93	2.20	188	448
93	Maiztem24c	H-30	06/12/73	30,000	10	30-20-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	1.85	1.72	1.96	189	449
94	Maiztem24d	H-30	06/12/73	40,000	13	60-40-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.27	1.93	2.09	190	450
95	Maiztem24e	H-30	06/12/73	50,000	16	60-40-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.49	1.93	2.20	191	451
96	Maiztem24f	H-30	06/12/73	50,000	16	60-20-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.28	1.93	2.20	192	452
97	Maiztem24g	H-30	06/12/73	40,000	13	60-20-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.28	1.93	2.09	193	453
98	Maiztem24h	H-30	06/12/73	40,000	13	30-40-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	1.67	1.72	2.09	194	454
99	Maiztem24i	H-30	06/12/73	40,000	13	30-20-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	1.81	1.72	2.09	195	455
100	Maiztem24j	H-30	06/12/73	60,000	19	60-40-00	11/04/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.03	1.93	2.27	196	456
101	Maiztemp25	H-28	06/25/76	60,000	19	80-40-00	12/20/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno	2.61	3.77	3.49	197	234
102	Maiztem25a	H-28	06/25/76	60,000	19	80-40-00	12/20/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno	2.90	3.78	3.49	198	457
103	Maiztem25c	H-28	06/25/76	60,000	19	80-40-00	12/20/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno, terraza SARH de formación sucesiva	2.73	3.78	3.49	198	459
104	Maiztem25d	H-28	06/25/76	60,000	19	80-40-00	12/20/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno, terraza CP de formación sucesiva	2.71	3.78	3.49	198	460
105	Maiztem25e	H-28	06/25/76	60,000	19	80-40-00	12/20/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno, terrazas de banco	2.13	3.78	3.49	198	461

Anexo 6. Continuación...

Id	Clave	Tipo Semilla	Fecha siembra	Densidad plantas	Semilla	Fertilización N-P-K	Fecha de cosecha	Régimen	Manejo	Rend. Obs.	Rend. Sim. MSDOS	Rend. Sim. WinEPIC	WinEPIC	
			M/D/A	plt ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	M/D/A			t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	No. corrida	
106	Maiztemp31	H-28	06/22/76	60,000	19	80-40-00	12/21/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno	2.43	3.92	3.73	198	240
107	Maiztem31b	H-28	06/22/76	60,000	19	80-40-00	12/21/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno, terraza de base ancha	2.36	3.92	3.73	198	482
108	Maiztem31c	H-28	06/22/76	60,000	19	80-40-00	12/21/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno, terraza con bancos alternos	2.8	3.92	3.73	198	483
109	Maiztem31e	H-28	06/22/76	60,000	19	80-40-00	12/21/76	Temporal	Labranza convencional, al contorno, terraza de banco con inclinación (1.6%)	2.57	3.92	3.73	198	485
110	Maiztemp32	H-30	05/25/77	67,000	21	80-60-00	11/16/77	Temporal	Labranza mínima, contorno, rastrojo 5 t/ha	3.93	5.36	3.67	198	241
111	Maiztem32a	H-30	05/25/77	67,000	21	80-60-00	11/16/77	Temporal	Labranza mínima, contorno, rastrojo 10 t/ha	4.08	5.36	3.67	198	486
112	Maiztem32b	H-30	06/09/77	67,000	21	80-60-00	12/04/77	Temporal	Labranza mínima, contorno, rastrojo 5 t/ha	3.32	4.87	3.55	198	487
113	Maiztem36c	H-30	05/04/73	30,000	10	30-20-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.81	3.85	3.62	198	496
114	Maiztem36d	H-30	05/04/73	40,000	13	30-00-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.78	3.85	4.47	198	497
115	Maiztem36e	H-30	05/04/73	40,000	13	60-40-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.79	4.63	4.47	198	498
116	Maiztem36f	H-30	05/04/73	50,000	16	60-40-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.71	4.63	4.60	198	499
117	Maiztem36g	H-30	05/04/73	50,000	16	60-20-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.79	4.63	4.60	198	500
118	Maiztem36h	H-30	05/04/73	40,000	13	60-20-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.45	4.63	4.47	198	501
119	Maiztem36i	H-30	05/04/73	50,000	16	30-40-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.02	3.85	4.60	198	502
120	Maiztem36j	H-30	05/04/73	40,000	13	30-40-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.19	3.85	4.47	198	503
121	Maiztem36k	H-30	05/04/73	50,000	16	30-20-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.07	3.85	4.60	198	504
122	Maiztem36l	H-30	05/04/73	40,000	13	30-20-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.49	3.85	4.47	198	505
123	Maiztem36m	H-30	05/04/73	60,000	19	60-40-00	10/10/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.22	4.63	4.60	198	506
124	Maiztemp37	H-30	05/30/72	60,000	19	80-50-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.99	4.46	4.41	198	246
125	Maiztem37a	H-30	05/30/72	60,000	19	80-75-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.02	4.46	4.41	198	508
126	Maiztem37d	H-30	05/30/72	45,000	15	40-00-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.91	3.80	4.33	198	511
127	Maiztem37e	H-30	05/30/72	45,000	15	80-50-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.28	4.46	4.33	198	512
128	Maiztem37f	H-30	05/30/72	60,000	19	80-50-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.17	4.46	4.41	198	513
129	Maiztem37g	H-30	05/30/72	60,000	19	80-25-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.20	4.46	4.41	198	514
130	Maiztem37h	H-30	05/30/72	45,000	15	80-25-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.33	4.46	4.33	198	515
131	Maiztem37i	H-30	05/30/72	60,000	19	40-50-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.74	3.80	4.41	198	516
132	Maiztem37j	H-30	05/30/72	45,000	15	40-50-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.71	3.80	4.33	198	517
133	Maiztem37k	H-30	05/30/72	60,000	19	40-25-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.99	3.80	4.41	198	518
134	Maiztem37l	H-30	05/30/72	45,000	15	40-25-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.78	3.80	4.33	198	519
135	Maiztem37m	H-30	05/30/72	75,000	24	80-50-00	10/24/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.94	4.46	4.51	198	520

Anexo 6. Continuación...

Id	Clave	Tipo Semilla	Fecha siembra	Densidad plantas	Semilla	Fertilización		Fecha de cosecha	Régimen	Manejo	Rend. Obs.	Rend. Sim. MSDOS	Rend. Sim. WinEPIC	WinEPIC	
						N-P-K								No. corrida	
						M/D/A	plt ha <sup>-1</sup>								kg ha <sup>-1</sup>
136	Maiztemp39	H-32	07/03/89	43,000	13.5	39-50-00	11/15/89	Temporal	Labranza convencional, contreo: 1.25 m	2.41	2.64	3.04	198	248	
137	Maiztem39a	H-32	07/03/89	62,000	19	55-71-00	11/15/89	Temporal	Labranza convencional, contreo: 1.25 m	2.39	2.71	3.76	198	521	
138	Maiztem39b	H-32	07/03/89	80,000	25	72-92-00	11/15/89	Temporal	Labranza convencional, contreo: 1.25 m	2.72	2.72	4.14	198	522	
139	Maiztem39c	H-32	07/03/89	43,000	13.5	39-50-00	11/15/89	Temporal	Labranza convencional, contreo: 2.50 m	2.32	2.64	3.04	198	523	
140	Maiztemp40	H-32	06/02/88	82,600	25	144-83-00	10/18/88	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.55	4.05	4.70	198	249	
141	Maiztem40a	H-32	06/02/88	34,000	11	60-34-00	10/19/88	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.13	3.87	3.12	198	526	
142	Maiztemp41	Criollo	04/13/72	65,000	20	120-90-00	10/29/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.53	3.33	4.28	198	250	
143	Maiztem41a	Criollo	04/14/72	35,000	11	0-00-00	10/29/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.18	3.18	3.36	198	527	
144	Maiztem42c	H-28	04/17/72	35,000	11	90-30-00	11/03/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.33	2.10	3.66	198	530	
145	Maiztemp43	Criollo	04/14/72	50,000	16	60-30-00	10/31/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.08	3.00	4.05	198	252	
146	Maiztem43a	Criollo	04/14/72	80,000	25	120-60-00	10/31/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.97	3.27	4.53	198	535	
147	Maiztem43b	Criollo	04/14/72	35,000	11	90-30-00	10/31/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.21	3.23	3.58	198	536	
148	Maiztem43c	Criollo	04/14/72	65,000	20	90-30-00	10/31/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.61	3.23	4.34	198	537	
149	Maiztem43d	Criollo	04/14/72	65,000	20	90-60-00	10/31/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.90	3.23	4.34	198	538	
150	Maiztemp44	H-30	06/07/72	60,000	19	80-50-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.72	4.16	4.61	198	253	
151	Maiztem44a	H-30	06/07/72	60,000	19	80-75-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.8	4.16	4.61	198	539	
152	Maiztem44b	H-30	06/07/72	30,000	10	40-25-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.59	3.39	3.69	198	540	
153	Maiztem44c	H-30	06/07/72	45,000	15	40-00-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.39	3.39	4.59	198	541	
154	Maiztem44d	H-30	06/07/72	45,000	15	80-50-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.58	4.16	4.59	198	542	
155	Maiztem44e	H-30	06/07/72	60,000	19	40-50-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.26	3.39	4.61	198	543	
156	Maiztem44f	H-30	06/07/72	45,000	15	40-50-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.30	3.39	4.59	198	544	
157	Maiztem44g	H-30	06/07/72	60,000	19	40-25-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.98	3.39	4.61	198	545	
158	Maiztem44h	H-30	06/07/72	45,000	15	40-25-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.25	3.39	4.59	198	546	
159	Maiztem44i	H-30	06/07/72	60,000	19	80-50-00	11/01/72	Temporal	Labranza convencional, estiercol fresco (10 ton)	3.53	4.29	4.61	198	547	
160	Maiztemp45	H-30	06/18/73	30,000	10	30-20-00	11/06/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.98	3.36	3.55	298	254	
161	Maiztem45b	H-30	06/18/73	40,000	13	30-40-00	11/06/73	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	2.93	3.36	4.48	300	549	
162	Maiztemp46	Criollo	03/25/72	50,000	16	60-30-00	10/11/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.60	4.01	4.74	302	255	
163	Maiztem46a	Criollo	03/25/72	50,000	16	120-60-00	10/11/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.87	4.01	4.74	303	551	
164	Maiztem46b	Criollo	03/25/72	50,000	16	90-00-00	10/11/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.11	4.01	4.74	304	552	
165	Maiztem46d	Criollo	03/25/72	50,000	16	90-30-00	10/11/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.59	4.01	4.74	306	554	
166	Maiztem46e	Criollo	03/25/72	65,000	20	90-30-00	10/11/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.28	4.01	5.43	307	555	
167	Maiztem46f	Criollo	03/25/72	65,000	20	90-60-00	10/11/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.55	4.01	5.43	308	556	
168	Maiztem46g	Criollo	03/25/72	65,000	20	120-30-00	10/11/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.84	4.01	5.43	309	557	
169	Maiztemp47	Criollo	03/24/72	80,000	25	120-60-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	5.04	4.05	5.61	310	256	
170	Maiztem47a	Criollo	03/24/72	50,000	16	60-30-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.44	3.84	4.66	311	558	
171	Maiztem47b	Criollo	03/24/72	50,000	16	90-00-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.72	4.01	4.66	312	559	
172	Maiztem47c	Criollo	03/24/72	35,000	11	90-30-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.99	4.01	3.64	313	560	
173	Maiztem47d	Criollo	03/24/72	50,000	16	90-30-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.96	4.01	4.66	314	561	
174	Maiztem47e	Criollo	03/24/72	65,000	20	90-30-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.43	4.01	5.23	315	562	
175	Maiztem47f	Criollo	03/24/72	50,000	16	90-60-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.30	4.01	4.66	316	563	
176	Maiztem47g	Criollo	03/24/72	65,000	20	90-60-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.60	4.01	5.23	317	564	
177	Maiztem47h	Criollo	03/24/72	50,000	16	120-30-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.42	4.05	4.66	318	565	
178	Maiztem47i	Criollo	03/24/72	65,000	20	120-30-00	10/10/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.31	4.05	5.23	319	566	

Anexo 6. Continuación...

Id	Clave	Tipo Semilla	Fecha siembra	Densidad plantas	Semilla	Fertilización		Fecha de cosecha	Régimen	Manejo	Rend.	Rend.	Rend.	WinEPIC	
						Obs.	Sim. MSDOS				Sim. WinEPIC	No. corrida			
			M/D/A	plt ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	N-P-K	M/D/A			t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>			
179	Maiztem50a	H-30	05/11/72	60,000	19	120-50-00	10/05/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	4.05	4.58	3.49	324	568	
180	Maiztem50b	H-30	05/11/72	45,000	15	0-25-00	10/05/72	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.50	4.58	3.39	325	569	
181	Maiztemp52	Criolla Amarillo	04/15/10	32,500	23	151-92-0	11/25/10	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.50	2.94	2.08	2	125	
182	Maiztemp53	Criolla Blanca	04/18/10	47,500	30	110-46-30	11/30/10	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	3.70	4.25	3.19	3	126	
183	Maizriego60	Criolla	04/08/08	76,250	38	140.5-25.5-25.5	11/18/08	Punta de riego	Labranza convencional, surcos rectos	4.00	7.15	3.74	10	140	
184	Maiztemp64	HC-8	04/10/10	57,500	28	101-23-30	11/25/10	Temporal	Labranza convencional, surcos rectos	7.30	10.76	3.53	14	136	