



Agraria

Nueva Epoca

Año VIII · Vol. 8 · No. 2 · Mayo - Agosto 2011 · Buenavista, Saltillo, Coah., México

Editorial

**Impacto de las Aflatoxinas en la Alimentación
y Salud Humanas**

Pág. 5

**Resistencia de Plantas de Maíz a la Infección
por *Aspergillus flavus* Link en Invernadero**

Pág. 15

**Efecto de la Fecha de Parto sobre Características
Productivas y Reproductivas de Vacas Charolais**

Pág. 36



Comité Editorial

Dr. Miguel A. Capó Arteaga
Editor en Jefe

Dr. Jesús Valdés Reyna
Editor Ejecutivo

Editores Técnicos

Dr. José L. Puente Manríquez
Fitomejoramiento, Unidad Laguna

Dr. Raúl Rodríguez García
Riego y Drenaje

Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Producción Animal

DIRECTORIO

Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

Rector

Ing. Lorenzo Castro Gómez

Secretario General

Dr. Raúl Villegas Vizcaíno

Director General Académico

M. C. Alfredo Sánchez López

Director de Investigación

Dr. Alfredo de la Rosa Loera

Subdirector de Programación y Evaluación

M. C. José A. Nájera Castro

Subdirector de Operación de Proyectos

UNIDADLAGUNA

Dr. Armando Espinoza Banda

Subdirector de Investigación

Dr. José Luis Puente Manríquez

Area de Programación, Operación y Evaluación Científica

Ing. Enrique L. Hernández Torres

Area de Operación Programas y Proyectos de Investigación

Diseño y Formación

Miguel A. Estrada Villarreal

Colaboradores

M. C. José H. Rancaño Arriolja

Agraria –Nueva Epoca– es una publicación científica, cuatrimestral, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con domicilio conocido en Buenavista, Saltillo, Coah., México y se imprime en sus Talleres Gráficos.

Tiraje digital (PDF) para su distribución en medios múltiples.

http://www.uaaan.mx/DirInv/portal_agraria/portal.htm · e-mail:
agraria_ne@uaaan.mx

Tel (844) 411-02-00, Ext. 2404 · Fax 411-02-11

Agraria -Nueva Epoca- está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México D. F.); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS)



Centéotl, deidad azteca de la agricultura, es una advocación de Chicomecóatl, diosa del maíz. La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en su afán de rescatar los valores del pasado histórico de México, la ha adoptado como logotipo de su revista científica, como símbolo que evoca y reafirma nuestras raíces culturales

NUESTRA PORTADA. Composición: al fondo paisaje con cultivo de maíz; al frente, ganado charolais estabulado en el Campus Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



Normas Editoriales

Tipo de materiales para publicación

La revista **Agraria -Nueva Epoca-** acepta, para su publicación, materiales en español e inglés, sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agroindustria y socioeconómicas. Todo material deberá venir acompañado de la solicitud correspondiente.

Estos materiales pueden ser artículos científicos, notas de investigación o ensayos.

Los materiales que se envíen para su publicación deberán ceñirse a las normas que, para tal efecto establezca **Agraria -Nueva Epoca-** y estarán sujetos a revisión y arbitraje por el Comité Editorial de la revista -o por quienes éste designe-, como requisito previo a su publicación.

No se aceptan trabajos ya publicados, o que estén sometidos a consideración en otros medios científicos de difusión.

Es de desear que la realización de la investigación, cuyos materiales sean enviados para su publicación, no exceda de 4 años anteriores a la fecha de su remisión.

Formato

El respeto a las siguientes indicaciones respecto al formato solicitado facilitará grandemente nuestro trabajo de edición.

Textos

Los textos, con todos sus anexos, deberán enviarse empaquetados (nosotros preferimos WinZip), sin contraseñas de seguridad, por correo electrónico, escritos en un procesador de textos de uso común (preferimos Word), en formato tamaño carta (21.57 x 27.94 cm), sin sangría, y a renglón seguido, con márgenes de 2.5 cm por lado. Agradeceremos evitar nombres de archivo excesivamente largos o con espacios en blanco. Los textos se redactarán en un tipo formal conocido ttf (True Type Font) tales como Arial, Times New Roman o similares, de 12 puntos. Las notas se escribirán en 9 puntos.

Todos los renglones, incluidos los encabezados, se iniciarán, invariablemente, a partir del margen izquierdo, sin sangría.

Todos los encabezados, independientemente de su orden, se escribirán en altas y bajas, y negrillas.

Los párrafos se escribirán sin pasar renglón entre ellos; para separarlos, a fin de hacer el texto fácil de leer y corregir, se utilizará el formato automático de párrafo del procesador, para darles un espaciado posterior de 6 puntos.

Las palabras no se separarán, en ningún caso, por sílabas. Es conveniente desactivar el comando automático de inserción de guiones (*hyphenation*) de su procesador.

El material no deberá exceder de 520 líneas para artículos científicos y ensayos, y de 200 líneas para una nota científica, incluidos cuadros y figuras.

Las unidades que se empleen serán las del Sistema Internacional de Unidades (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/unidades/unidades.htm>)

Las páginas, al igual que los cuadros y las figuras, se numerarán progresivamente con números arábigos.

Cuadros y figuras. Los cuadros y las figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetirán los datos que se presenten en el texto, o en otra forma. Cuadros y figuras deben ser claros, simples, concisos e ilustrativos.

Los cuadros no excederán, en ningún caso, los márgenes de impresión arriba mencionados y deberán presentarse en el cuerpo del texto, con el formato correspondiente, con las columnas separadas por tabulaciones, sin espacios a mano, y en la posición en que se espera que aparezcan, con el número de orden correspondiente.

En los cuadros se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desee.

Los cuadros se realizarán en formato básico con tres líneas horizontales continuas: al inicio del cuadro, al inicio del cuerpo del cuadro (no en el encabezamiento) y al final. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor. No se deben añadir líneas verticales. Los encabezamientos, de columnas y líneas, se escribirán con minúsculas, excepto la primera letra de la oración. Las unidades se colocan debajo de la segunda línea horizontal, como en el ejemplo que se proporciona.

Las figuras tampoco excederán, en ningún caso, los márgenes de impresión establecidos. La posición que vaya a ocupar cada figura, deberá estar indicada en el texto con negrillas, en renglón aparte, con el número correspondiente.

Cada figura se enviará en archivo por separado, en formato tif (compresión LZW), o jpg, con el tamaño exacto en que se pretende que aparezca en la publicación, en una resolución no inferior a 150 pixeles por pulgada, con el número que le corresponda (p. ej: fig 01.jpg).

Los puntos experimentales deberán marcarse visiblemente. Para dividir los ejes, se escogerán intervalos constantes para cada uno. Los mosaicos fotográficos deberán entregarse montados en un solo archivo gráfico (tif, o jpg), totalmente terminados. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.

En archivo por separado se enviará un listado de las figuras incluidas en el material enviado, con el número de orden y el pie de grabado correspondientes (p. ej.: listafigs.doc)

Las figuras pueden ser fotos a color o en tonos de gris -según sea su original-, gráficas (de preferencia a color), ilustraciones, dibujos, o grabados (de preferencia a color).

Los cuadros deberán redactarse en el mismo procesador de textos y formato señalado arriba.

Las ecuaciones, si las hubiera, se insertarán en el texto con un editor de ecuaciones compatible con su procesador.

Notas de pie de página

Sólo se podrán utilizar, cuando sean absolutamente indispensables, para identificar información adicional y se numerarán progresivamente en el texto. Los asteriscos se reservarán para indicar significancia a 5% (*) y 1% (**), respectivamente. En el pie de grabado -o de cuadro- se incluirán las notas o llamadas que sean pertinentes, y serán señaladas con números arábigos.

Citas bibliográficas

Las citas bibliográficas deberán ser de literatura reciente, relevante y sólo las exclusivamente necesarias para sustentar los planteamientos hechos.

Más detalles en http://www.uaaan.mx/DirInv/Convoc/conv_web/normas.htm, o http://www.uaaan.mx/DirInv/portal_agraria/portal.htm

Contenido

Normas Editoriales / Instructions for authors	2
Convocatoria/ Paper call	4
Editorial / Editorial	
Impacto de las Aflatoxinas en la Alimentación y Salud Humanas	5
Artículos / Articles	
Calibración de DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) para Tres Cultivares de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el Sur de Nuevo León, México	6
Calibration of DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) for Three Cultivars of Maize (<i>Zea mays</i> L.) in the South of Nuevo Leon, Mexico	
Camerino Rojas Montes, Heriberto Díaz Solís, Eduardo Aizpuru García, Ramiro López Trujillo, Froylán Rincón Sánchez	
Resistencia de Plantas de Maíz a la Infección por <i>Aspergillus flavus</i> Link en Invernadero	15
Corn Plant Resistance to Infection by <i>Aspergillus flavus</i> Link in Greenhouse Conditions	
Martha Yolanda Quezada-Viay, Alberto Flores-Olivas, Andrea Alejandra Arrúa-Alvarenga, Mario Ernesto Vázquez-Badillo, Ernesto Moreno-Martínez	
Incidencia y Severidad de la Marchitez del <i>Agave tequilana</i> Weber Var. Azul en la Zona Sur del Estado de Nayarit, México	21
Incidence and Severity of Agave Wilt in <i>Agave tequilana</i> Weber Var. Azul in the Southern Area of the Mexican state of Nayarit.	
Pedro Gómez-Ortiz, Abiel Sánchez-Arizpe, Gil Virgen-Calleros, Carlos Rubén Carvajal-Cazola, Emilio Padrón-Corral	
Aislamiento y Caracterización de Bacterias Endófitas Asociadas con Síntomas de Punta Morada de la Papa	26
Isolation and Characterization of Endophytic Bacteria Associated with Purple Top Symptoms in Potato	
María Isabel Notario-Zacarías, Alberto Flores-Olivas, Gabriel Gallegos-Morales, Oswaldo García-Martínez, Víctor Olalde-Portugal	
Efecto de la Fecha de Parto sobre Características Productivas y Reproductivas de Vacas Charolais	36
Calving date effect on Productive and Reproductive Characteristics of Charolais Cows	
Daniel Pérez Torres, Roberto García Elizondo, Ramiro López Trujillo, Jesús Manuel Fuentes Rodríguez y Fernando Ruiz Zarate	

CONVOCATORIA

La Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

CONVOCA

A los investigadores, nacionales y extranjeros, interesados en publicar artículos científicos, a enviar sus contribuciones a la revista **Agraria -Nueva Epoca-**, bajo las siguientes bases:

Los trabajos recibidos se someterán al proceso de revisión descrito en las *Normas Editoriales* de la Revista.

Se recibirán contribuciones inéditas de todos los interesados, nacionales o extranjeros, en español o inglés.

Los artículos deberán versar sobre temas de contenido agrícola, pecuario, forestal, y socioeconómico del entorno regional, nacional e internacional.

Las modalidades de publicación son las siguientes:

Artículo científico

Es el resultado de un trabajo de investigación en el cual se aplicó, de forma rigurosa, el método científico, estudiando el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida en el trabajo.

Los artículos científicos que se envíen deberán constar de las siguientes partes: Título, Título en inglés, Autor(es), Institución(es) de adscripción y datos de localización del autor responsable (domicilio, teléfono, fax, e-mail), Abstract, que es la traducción al inglés del Resumen, incluidas las palabras clave; Resumen, que incluirá al pie las palabras clave hasta un máximo de seis, Introducción, Materiales y métodos, Resultados y discusión, Conclusiones, Literatura citada, Agradecimientos.

Ensayo científico

Consiste en el análisis crítico de una recopilación actualizada de artículos científicos, informes de investigación, o materiales similares, en los que el autor o autores aportan su opinión personal sobre un tema, estableciendo conclusiones respecto al estado actual del conocimiento sobre el mismo.

Partes de que consta el Ensayo: Título, Título en inglés, Autor(es), Institución(es) de adscripción y datos de localización del autor responsable (domicilio, teléfono, fax, e-mail), Abstract, que es la versión al inglés del Resumen, incluye las palabras clave, Resumen, incluidas las palabras clave hasta un máximo de siete, Introducción, Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes, Discusión, cuando proceda, Conclusiones, Literatura citada.

Nota de investigación

Son materiales basados en trabajos experimentales que, sin perjuicio del método y rigor científicos, presentan aspectos metodológicos innovadores o resultados que, por su carácter novedoso, el autor considera de interés publicar antes de finalizar su investigación.

La nota, aunque de menor extensión, cubre todos los aspectos relevantes del proceso de investigación. Su estructura es similar a la del artículo científico, y trata cada uno de sus apartados, con menor profundidad y detalle, aunque no tiene que incluir los encabezados.

La excepción a lo anterior son el Abstract, que se omite, y la Literatura citada, apartado que deberá incluirse expresamente.

De ser necesario, podrán incluirse -también- algún cuadro o ilustración, cuando resulten relevantes para la mejor comprensión de la nota.

Los trabajos a publicar deberán hacerse llegar en versión electrónica, acompañados de una solicitud, de conformidad con las especificaciones marcadas en las Normas Editoriales arriba mencionadas, a la siguiente dirección electrónica: agraria_ne@uaaan.mx, con atención a:

Editor en Jefe de la Revista Agraria -Nueva Epoca-

Dirección de Investigación, UAAAN, Domicilio conocido, Buenavista,

Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315

Para mayor información respecto a esta Convocatoria visite http://www.uaaan.mx/DirInv/portal_agraria/portal.htm para consultas diríjase al Editor en Jefe: agraria_ne@uaaan.mx.

Editorial

Impacto de las Aflatoxinas en la Alimentación y Salud Humanas

Algunos hongos como *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius* y *A. pseudotamarii* causan la pudrición en campo y almacén de cereales como maíz, sorgo, mijo, arroz, trigo; de semillas oleaginosas como cacahuete, soya, girasol, algodón; de especias como chile seco, pimienta negra, cilantro, cúrcuma, jengibre; y de frutos secos como almendra, pistacho, coco, macadamia. Estos hongos producen aflatoxinas, las cuales son clasificadas como micotoxinas, sustancias altamente tóxicas para el ganado y el hombre al presentar propiedades hepatotóxicas, carcinogénicas, teratogénicas e inmunosupresoras.

Las cuatro principales aflatoxinas conocidas como B1, B2, G1 y G2, la B1 (AFB1) es el más potente carcinógeno natural del hígado. Al metabolizar las aflatoxinas, en el hígado se produce una especie reactiva de oxígeno (AFB1 exo-8,9-epóxido) que puede unirse a las proteínas y causar toxicidad aguda, o unirse al ADN e inducir el cáncer de hígado. La toxina también se puede encontrar en la carne y leche de animales alimentados con granos y forraje contaminados.

Durante los últimos 50 años la presencia de aflatoxinas en alimentos ha sido reconocida como un problema importante para la salud humana y animal; desde principios de los años sesenta se publicaron los primeros reportes de la enfermedad X de los pavos en Inglaterra, que provocó la muerte de 100,000 pavos y pollos alimentados con pasta de cacahuete contaminado con aflatoxinas. Diez años después se reportaron casos de brotes de aflatoxicosis (intoxicación aguda por aflatoxinas) en humanos adultos con una nutrición deficiente y cuyo alimento básico era el maíz. La contaminación con aflatoxinas en alimentos de origen vegetal y animal ha provocado la muerte de personas y animales en la India y algunos países de África. La Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos ha establecido el nivel máximo permitido de aflatoxinas para el consumo humano en 20 ppb; niveles de 100 a 300 ppb para alimentos destinados al consumo animal, y recomienda que el maíz contaminado con niveles superiores a 300 ppb se use con fines industriales como la producción de etanol.

A la fecha se han realizado investigaciones sobre la naturaleza, ocurrencia y exposición de estas micotoxinas, así como sus efectos sobre la salud, su papel en la aparición primaria del carcinoma hepatocelular y los mecanismos moleculares, bioquímicos y patológicos que originan su toxicidad, pero es necesario seguir trabajando en las estrategias para minimizar su impacto en la salud y en la economía del ser humano.

Aunque se han planteado diferentes alternativas para reducir o eliminar la contaminación de maíz con aflatoxinas, la solución más viable es la identificación y desarrollo de fuentes de resistencia a su acumulación en el campo. Es por esto que investigadores de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), y de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) unen esfuerzos en la investigación evaluando la susceptibilidad de genotipos de maíz a la infección por el hongo y a la acumulación de aflatoxinas en mazorcas inoculadas con *A. flavus* en invernadero para contribuir, así, a la solución de este importante problema de salud y alimentación.

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

Camerino Rojas Montes^{1*}, Heriberto Díaz Solís¹, Eduardo Aizpuru García¹, Ramiro López Trujillo², Froylán Rincón Sánchez³

¹Departamento de Recursos Naturales Renovables, ²Departamento de Nutrición y Alimentos, ³Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: rojasmc_17@hotmail.com (*Autor responsable)

Abstract

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

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

Resumen

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

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

Introducción

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

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

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

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

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

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

Materiales y Métodos

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

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

Los tratamientos (variedades) utilizados en este experimento fueron: T1 = AN447, T2 = AN388 y T3 = A7573, la siembra se realizó el 3 de mayo de 2007 en parcelas de 100 m² (10 m x 10 m) con una población de 100,000 plantas ha⁻¹ en el cultivar AN447, 86,000 plantas ha⁻¹ en AN388 y 45,500 plantas ha⁻¹ en el cultivar A7573, al momento de la siembra se fertilizó con una dosis 60–60–60 siendo la fuente el 17–17–17, para la distribución de los tratamientos se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones.

Variables de respuesta

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

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

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

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

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

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

Datos climáticos

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

Índices agroclimáticos

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

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

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

Donde:

T_i = Temperatura media diaria para el día.

T_{max} = Temperatura máxima para el día

T_{min} = Temperatura mínima para el día

T_{base} = Temperatura base (8 °C)

Radiación solar acumulada

Los datos de radiación solar en la estación climática se registraron cada media hora en watts m⁻² pero para la construcción de los modelos se requerían en unidades de MJ/m²/d⁻¹ para hacer esta conversión se hizo lo siguiente:

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

Descripción del programa DSSAT

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

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

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

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

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

Carga de datos a DSSAT

Archivo de manejo del cultivo (Archivo X)

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

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

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

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

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

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

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

Archivo de datos de suelo (*.SOL)

Se capturaron datos como color, drenaje, pendiente, factor de fertilidad y la descripción por capas del perfil del suelo en esta sección se cargaron los siguientes datos: profundidad de la capa en cm, nombre del horizonte, porcentaje de arcilla, porcentaje de limo, porcentaje de arena, porcentaje de carbono orgánico, porcentaje de nitrógeno total, contenido de CaCO_3 expresados en g kg^{-1} .

Archivo de datos climáticos (*.WTH)

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

Archivo de datos observados

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

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

a madurez (kg ha^{-1})

– BWAH: peso seco del rastrajo (kg ha^{-1})

– ADAT: fecha de antesis (día juliano)

– MDAT: fecha de madurez fisiológica (día juliano)

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

Archivo *.CUL

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

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

Calibración de DSSAT para los tres cultivares

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

Resultados y Discusión

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

Cuadro 1. Coeficientes genéticos utilizados para la calibración de DSSAT

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

*Descritos en *Materiales y Métodos*

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

de DSSAT se presentan en el Cuadro 2.

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

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

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

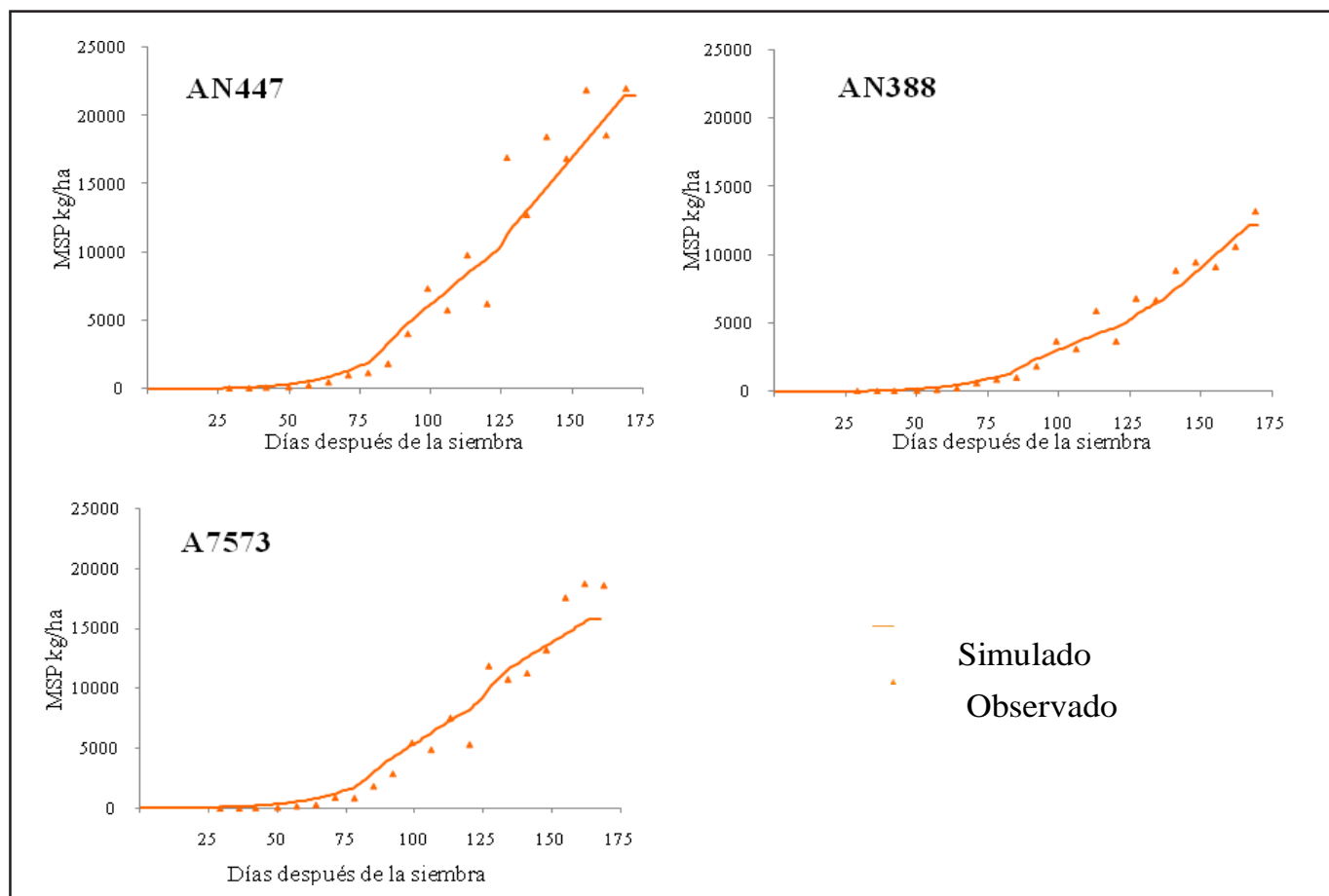


Figura 1. Acumulación de Materia seca parcial (biomasa total) observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, N. L., México.

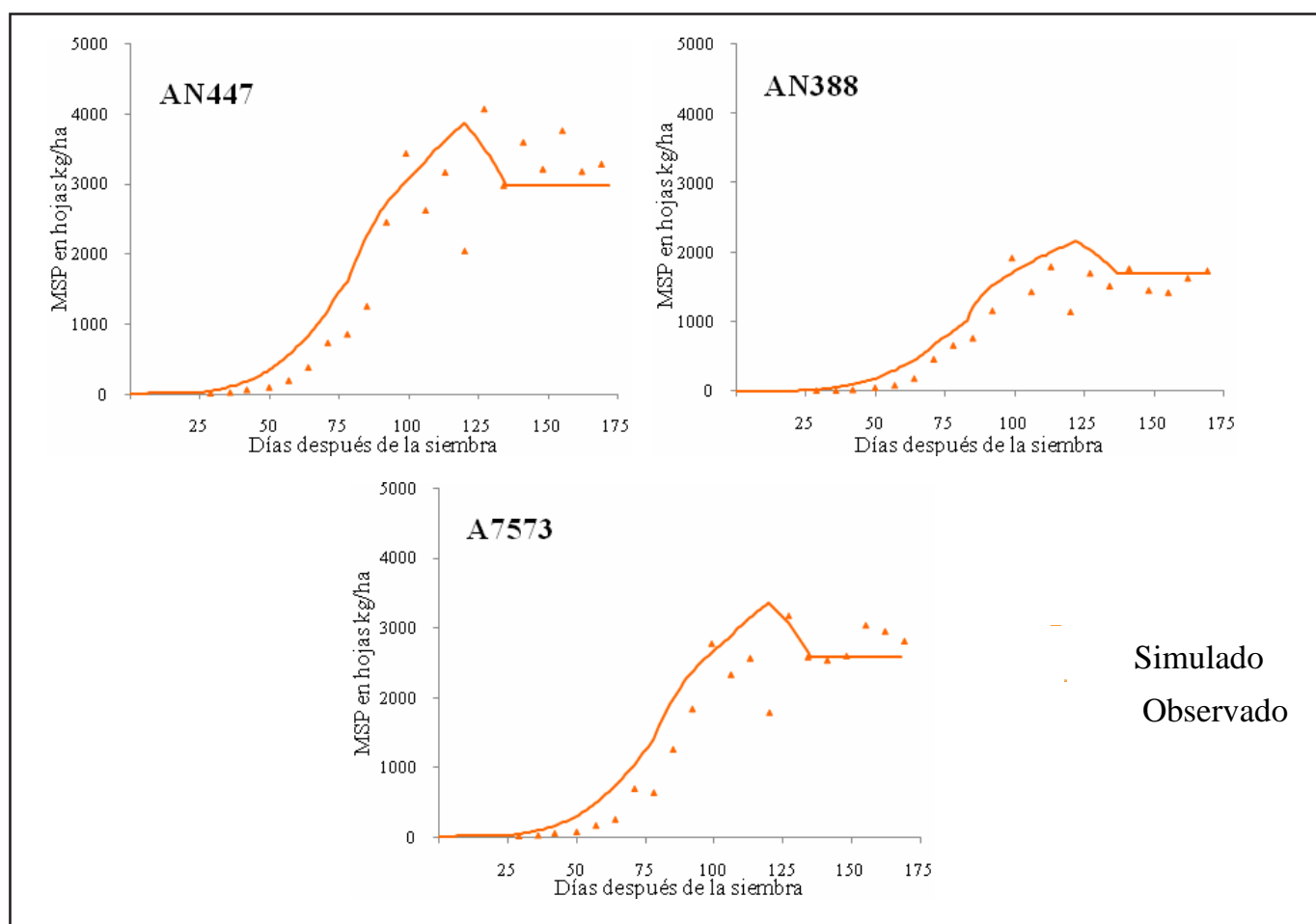


Figura 2. Acumulación de materia seca parcial en hojas observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, N. L., México.

Materia seca parcial

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

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

Materia seca parcial en hojas

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

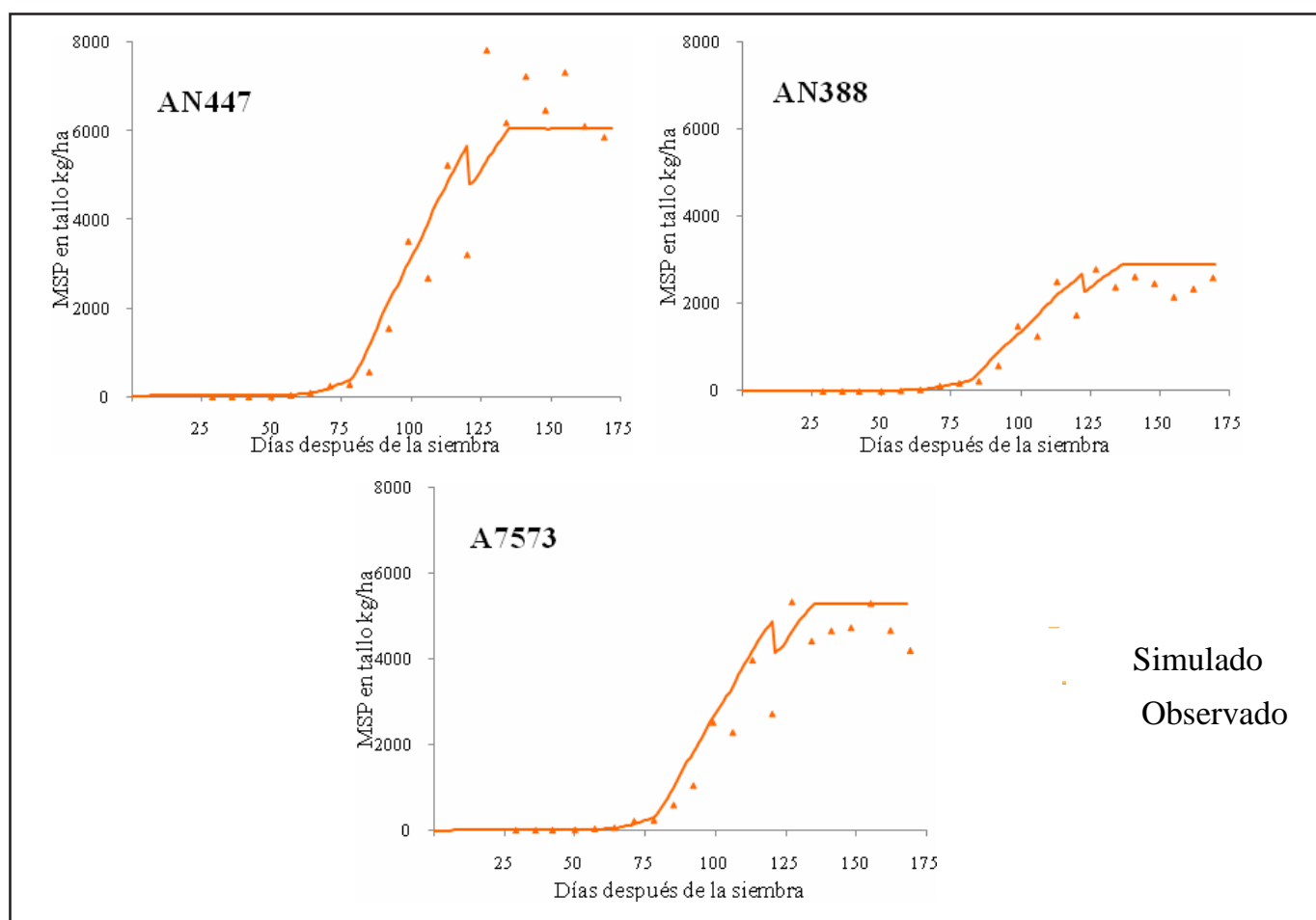


Figura 3. Acumulación de materia seca parcial en tallos observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, Nuevo León, México.

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

Materia seca parcial en tallo

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

Materia seca parcial en grano

El rendimiento en grano fue simulado de manera adecuada, el comportamiento de los valores observados y simulados son semejantes (Figura 4), los valores estadísticos son los siguientes: para el cultivar AN447 la r² fue de 0.88 y RMSE de 872 kg ha⁻¹, para el cultivar 388 la r² tuvo un valor de 0.98 y RMSE de 474 kg ha⁻¹ y para el cultivar A7573 tuvo los valores de 0.96 y 784 kg ha⁻¹ de r² y RMSE respectivamente. El rendimiento grano simulado a la madurez para el cultivar AN447 fue de 8,066

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

Índice de Área Foliar

Esta variable fue simulada adecuadamente, el comportamiento de los simulados con los observados son semejantes (Figura 5), los valores estadísticos para el cultivar AN447 fue de 0.84 de r² y RMSE de 0.74, para el cultivar AN388 el valor de la r² fue de 0.79 y RMSE de 0.47 y para el cultivar A7576 la r² fue de 0.77 y RMSE de 0.76. En más del 50 % de los puntos observados en el cultivo, DSSAT sobreestima estos valores. Los valores de IAF máximo para cada cultivar es como sigue: para el

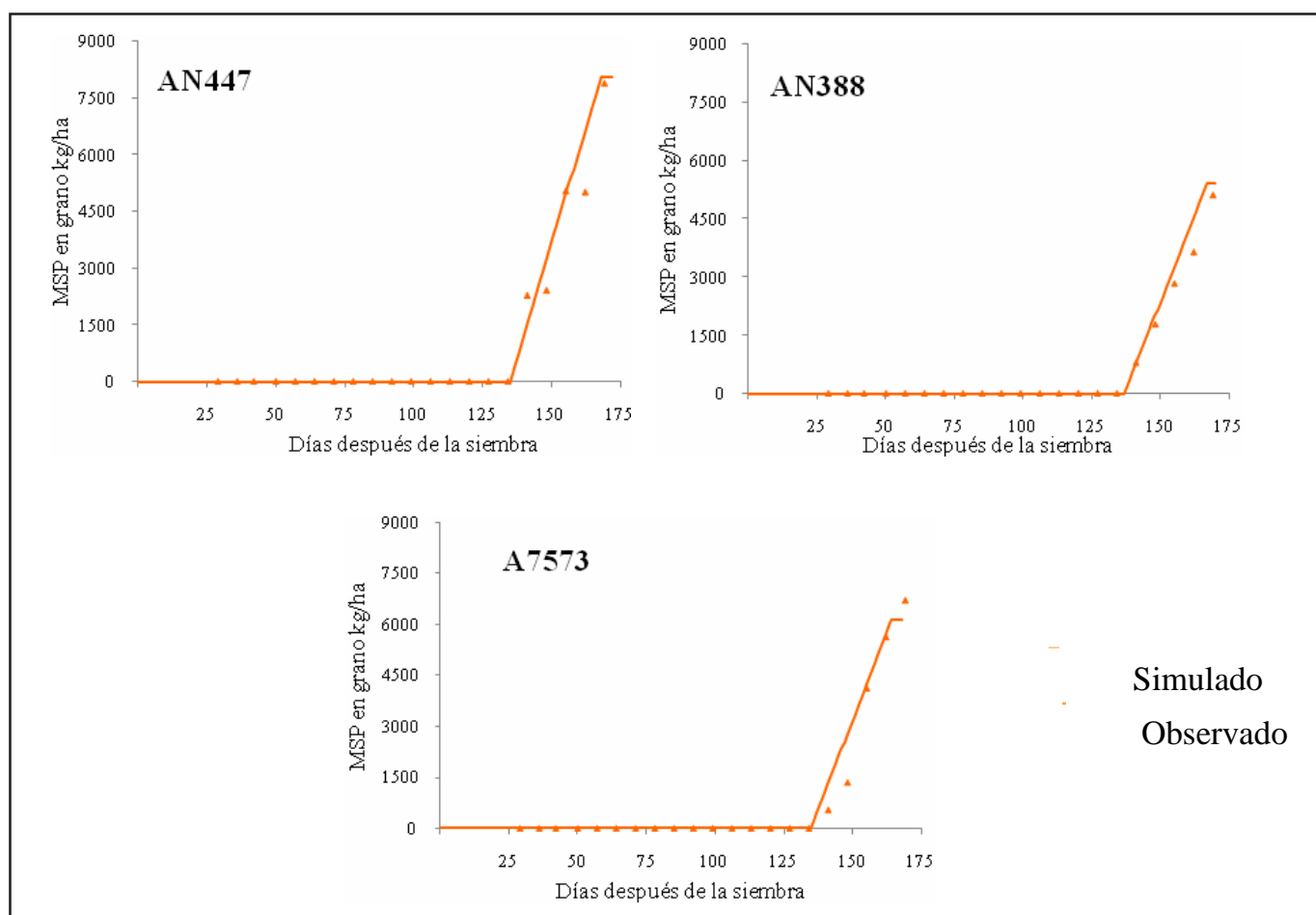


Figura 4. Acumulación de materia seca parcial en granos observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, N. L., México.

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

Conclusiones

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

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

Literatura Citada

Cabelguenne M., J. L. Charpentreau, C. A. Jones, J. R. Marty, J. P. Rellier. 1986. Conduite des systèmes de grande culture et prévision des rendements: tentative de modélisation. pp. 125-1 32. *In*: II. Etalonnage du modèle: résultats et perspectives. C.R. Acade. Agric. Fr. 72.

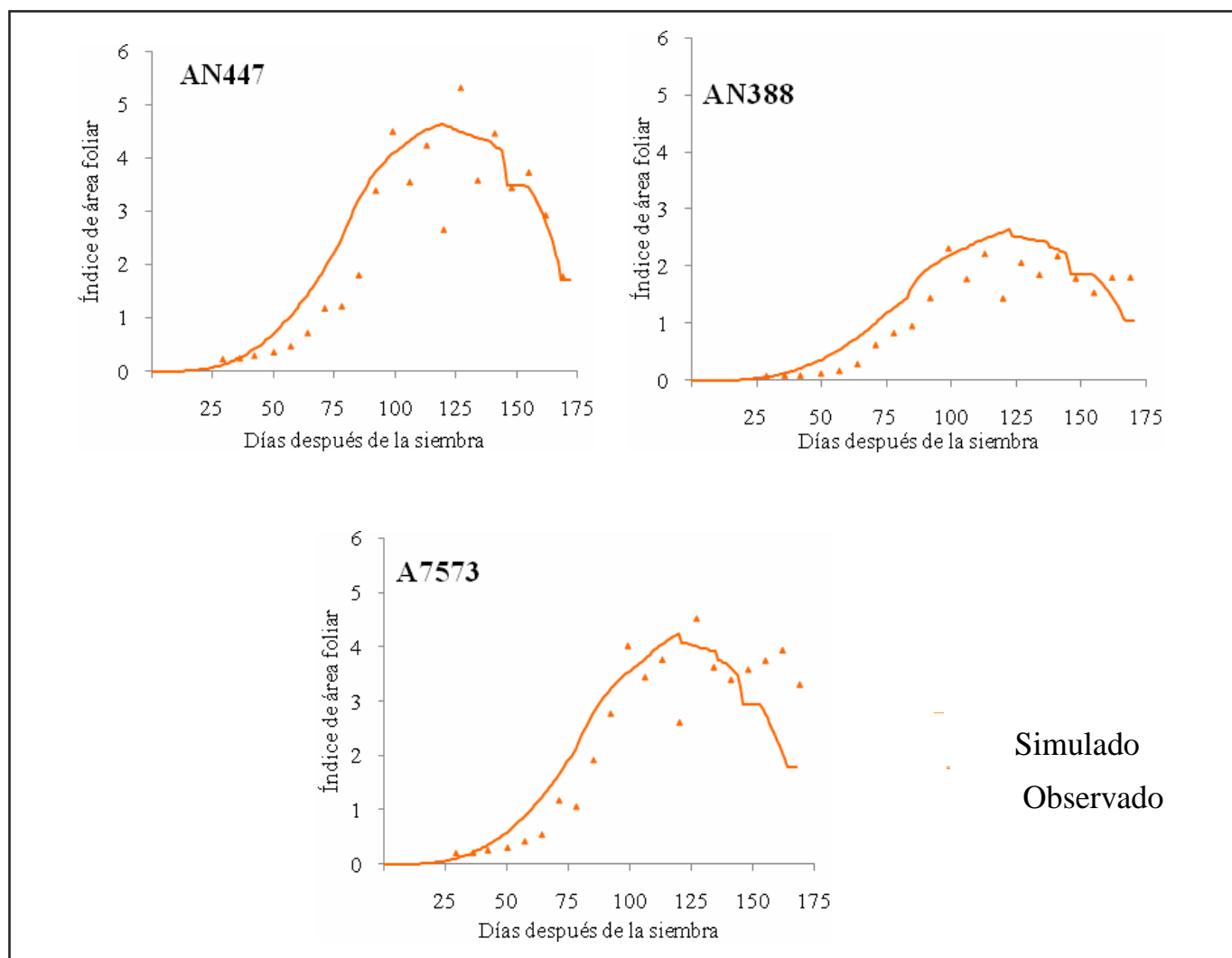


Figura 5. Índice de área foliar observada y simulada de los tres cultivares de maíz durante el ciclo del cultivo (3 de mayo de 2007 – 19 de octubre de 2007) en Galeana, N. L., México.

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

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

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

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

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

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

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

Resistencia de Plantas de Maíz a la Infección por *Aspergillus Flavus* Link en Invernadero

Martha Yolanda Quezada-Viay^{1*}, Alberto Flores-Olivas¹, Andrea Alejandra Arrúa-Alvarenga¹, Mario Ernesto Vázquez-Badillo², Ernesto Moreno-Martínez³

¹Departamento de Parasitología Agrícola, ²Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México, Apdo. Postal 342. ³Unidad de Investigación en Granos y Semillas, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Dr. Jorge Jiménez Cantú S/N, Col. San Juan Atlamica, Cuautitlán Izcalli, Edo. Mex., México. E-mail: viayy@yahoo.com (*Autor responsable).

Abstract

Corn Plant Resistance to Infection by *Aspergillus flavus* Link in Greenhouse conditions. Production of aflatoxins and percentage of infected grain in four genotypes of maize: ZMT1, ZMT2, ZMS1, ZMS2 were evaluated and inoculated with *Aspergillus flavus* L. under greenhouse conditions, taking as reference materials genotypes H-443A and DK2020Y, reported to be, respectively, resistant and susceptible to accumulation of aflatoxin in the field. Styles (silk) of forming ears were sprayed with a suspension of 7×10^7 *A. flavus* L. spores. The infection was observed as a localized rot at the top of the ears. The percentage of grain infected with the pathogen, as well as the concentration of aflatoxins were determined for each variety. The H-443A genotype remained free of infection and aflatoxins, in contrast to the genotype DK2020Y, in which ear rot in 40% of infected plants, and 245 ppb of aflatoxin in grain were observed. ZMT1, ZMT2, ZMS2, and ZMS1 genotypes had similar percentages of plants with ear rot and infected grain. ZMT2 accumulated the highest amount of aflatoxin (510 ppb), and in ZMS1 were not detected.

Key words: Inoculation technique, infected grain, mycotoxins.

Resumen

Se evaluó la producción de aflatoxinas y el porcentaje de grano infectado en cuatro genotipos de maíz: ZMT1, ZMT2, ZMS1 y ZMS2, inoculados con *Aspergillus flavus* L. en invernadero, tomando como materiales de referencia los genotipos H-443A y DK2020Y, reportados como resistente y susceptible, respectivamente, a la acumulación de aflatoxinas en campo. Los estilos de las mazorcas en formación se asperjaron con una suspensión de 7×10^7 esporas de *A. flavus* L. La infección se observó como una pudrición localizada en el extremo superior de las mazorcas. Se determinó el porcentaje de grano infectado con el patógeno en cada variedad, así como la concentración de aflatoxinas. El genotipo H-443A se mantuvo exento de infección y de aflatoxinas, en contraste con el genotipo DK2020Y, en el cual se observó pudrición de la mazorca en el 40 % de las plantas infectadas y 245 ppb de aflatoxinas en el grano. Los genotipos ZMT1, ZMT2, ZMS1 y ZMS2 presentaron similares porcentajes de plantas con pudrición de mazorca y de grano infectado. El genotipo ZMT2 acumuló la mayor cantidad de aflatoxinas (510 ppb) y en ZMS1 no fueron detectadas.

Palabras clave: Técnica de inoculación, grano infectado, micotoxinas.

Introducción

Las aflatoxinas son metabolitos secundarios producidos por algunas especies de *Aspergillus* que confieren toxicidad entre otros a los cereales contaminados con estos hongos. Su impacto económico incluye la pérdida de vidas humanas y animales, el incremento en los costos de salud y atención veterinaria, reducción en la producción animal y otros problemas económicos y comerciales (Bogantes-Ledezma *et al.*, 2004). La infección pre-cosecha de maíz con

Aspergillus merma los volúmenes de grano útil como alimento humano y animal.

En México se ha reportado la incidencia de aflatoxinas en grano y productos elaborados a base de maíz en diferentes regiones geográficas (García-Aguirre *et al.*, 2001; Bucio-Villalobos *et al.*, 2001; Martínez-Flores *et al.*, 2003a y b; García-Aguirre *et al.*, 2003; Moreno-Lara, 2004). Probablemente uno de los episodios más significativos fue el ocurrido en Tamaulipas cuando los

niveles de aflatoxinas superaron los 100 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en prácticamente toda la cosecha de maíz en 1989 (Plasencia, 2004).

Aunque se han planteado diferentes alternativas para reducir o eliminar la contaminación de maíz con aflatoxinas, la solución más deseable es la identificación y desarrollo de fuentes de resistencia. En los Estados Unidos se han reportado líneas de maíz como la Mp313E, Oh516, etc., cuya tolerancia a la infección por *A. flavus* en campo ya ha sido demostrada (Brooks *et al.*, 2005; Busboom y White, 2004).

En México, Reyes *et al.* (2008) reportaron la variedad de maíz H-443A como un genotipo resistente a la acumulación de aflatoxinas; sin embargo, se desconoce el potencial genético de los maíces criollos y mejorados como fuentes de resistencia a un patógeno con el cual han co-evolucionado.

En estudios anteriores realizados por Cobielles-Castrejón (2007) y Benítez-Esquivel (2007), se seleccionaron 4 genotipos de maíz en una colección de 40 materiales. Dos de ellos: ZMT1 y ZMT2, mostraron tolerancia a la acumulación de aflatoxinas y los otros dos, ZMS1 y ZMS2, acumularon elevadas concentraciones de las toxinas cuando se almacenó grano inoculado con *A. flavus* en condiciones óptimas para la producción de las aflatoxinas (30 días, 27 °C y 85 % de humedad relativa), pero se desconoce su resistencia a la acumulación de aflatoxinas en el campo, ya que la etapa pre-cosecha es altamente susceptible a la infección del cultivo por este patógeno, principalmente durante la formación de los granos (Guo *et al.*, 2008).

Este estudio se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la susceptibilidad de estos cuatro genotipos de maíz a la infección por el hongo y a la acumulación de aflatoxinas cuando las mazorcas en formación fueron inoculadas con *A. flavus* en invernadero.

Materiales y Métodos

Genotipos de Maíz

Se utilizaron semillas de cuatro genotipos de maíz (ZMT1, ZMT2, ZMS1 y ZMS2) provenientes del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-Bajío). Como materiales de referencia se usaron los genotipos H-443A y DK2020Y reportados como resistente y susceptible a la acumulación de aflatoxinas en campo, por Reyes *et al.* (2008).

Siembra en Invernadero

El experimento se realizó en un invernadero del

Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coah., México. Se prepararon camas de 12 m de largo por 1.5 de ancho y una altura de 50 cm. El área se cubrió con tela para evitar la entrada de plagas. Se sembraron 20 semillas de cada variedad en dos hileras alternadas. El manejo del cultivo comprendió riegos semanales, desyerbe, fertilización y aplicación de plaguicidas. La temperatura mínima promedio fue 24.5 °C y la máxima promedio de 35 °C.

Cepa de *A. flavus*

Se experimentó con la cepa No. 28 de *A. flavus*, obtenida y caracterizada como altamente toxigénica por Moreno-Lara (2004), previamente utilizada en los estudios de Cobielles-Castrejón (2007) y Benítez-Esquivel (2007). Un cultivo monospórico de dicha cepa fue proporcionado por la Unidad de Investigación en Granos y Semillas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNIGRAS-UNAM).

Preparación del Inóculo de *A. flavus*

La suspensión de esporas utilizada como fuente de inóculo se preparó a partir de cultivos del hongo en papa-dextrosa-agar (PDA) con ocho días en incubación a 25 °C. Se resuspendieron las esporas en agua destilada con Tween 20 al 0.2 %.

Infección en Invernadero

La inoculación del patógeno se realizó por aspersión de los estilos de cada mazorca con una suspensión de 7×10^7 esporas de *A. flavus* en la etapa fisiológica posterior a la polinización, cuando los estigmas presentaron una coloración café-verdosa a café-rojiza. Los testigos se asperjaron con agua destilada estéril. Posteriormente se cubrieron con bolsas de papel.

Evaluación de la Infección

Las mazorcas se cosecharon en estado de grano duro y se secaron 72 h a 38 °C en estufa con circulación forzada de aire hasta que la semilla alcanzó un contenido de humedad de 10-11 %. Para cada genotipo se preparó una muestra compuesta con los granos de todas las mazorcas inoculadas y otra con los granos de las mazorcas utilizadas como testigos. Posteriormente, se evaluó la microbiota de los granos seleccionados aleatoriamente. Se desinfectaron superficialmente con hipoclorito de sodio al 3 % en agitación durante 1 min. Los granos se colocaron en cajas petri con medio de malta-sal-agar (MSA) al 6 % de NaCl y se incubaron 7 días a 25 °C. El número de granos infectados con *A. flavus* se reportó como un porcentaje del total analizado.

Cuantificación de Aflatoxinas en Granos de Maíz

Se determinaron aflatoxinas totales en las muestras de maíz siguiendo el método 991.31 de la AOAC (1995). El método consistió en la extracción de las aflatoxinas totales con metanol al 80 % a partir de 50 g de grano molido y su retención en columnas de afinidad de la marca Afla Test-P con anticuerpos monoclonales. La cuantificación se llevó a cabo en un fluorómetro VICAM Serie 4 (Vicam, Milford, MA, USA), calibrado previamente con un estándar de aflatoxinas.

Evaluación Agronómica

Se determinaron las siguientes características agronómicas en plantas de los genotipos de maíz inoculadas con *A. flavus*: altura de la planta (AP), altura de mazorca (AM), hojas por planta (HP), mazorcas por planta (MP), acame de tallo (AT), acame de raíz (AR), plantas con buena cobertura (PBC).

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, en arreglo factorial A x B, donde A = variedad de maíz y B = inoculación de mazorcas. Los datos del porcentaje de grano infectado con *A. flavus* y la concentración de aflatoxinas se transformaron con $\sqrt{x + 1}\sqrt{x + 1}$. Las medias obtenidas se sometieron a comparación estadística de Tukey en el paquete Instat ver. 3.0 de Graph Pad.

Resultados y Discusión

La inoculación de *A. flavus* mediante la aspersión de los estilos permitió la infección en menos del 50 % de las mazorcas en todos los genotipos estudiados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de mazorcas con pudrición por *Aspergillus flavus* L. en cuatro genotipos de maíz inoculados en invernadero, tomando como materiales de referencia a los genotipos H-443A y DK2020Y, reportados respectivamente como resistente y susceptible a la acumulación de aflatoxinas en campo.

Genotipo	Plantas sin Inocular	Plantas Inoculadas
ZMT1	0	43
ZMT2	0	37
H443A	0	0
ZMS1	0	30
ZMS2	0	36
DK2020Y	0	40

Todas las mazorcas de la variedad H-443A estuvieron libres de los signos de la infección. Los genotipos DK2020Y y ZMT1 mostraron los mayores porcentajes de mazorcas infectadas visiblemente con el hongo. En las plantas enfermas se observó el desarrollo de las colonias fúngicas

sobre los estilos y granos de la punta de la mazorca.

La temperatura ambiente, considerada como un factor determinante para la infección por *A. flavus*, fue favorable y se mantuvo dentro del rango óptimo para el desarrollo del hongo (O'brian *et al.*, 2007). Otro factor que favoreció la infección fue el estado fisiológico en que se inocularon las plantas. Tubajika *et al.* (2000) señalan a la fase en que el 50 % de los estigmas adquieren una coloración café-amarillenta-verdosa como idónea para el desarrollo del patógeno.

Los síntomas de las mazorcas infectadas se muestran en las fotografías de la Figura 1. Los daños más evidentes estuvieron altamente localizados en las zonas de aspersión del inóculo sobre las mazorcas. Las colonias se desarrollaron superficialmente sobre las hojas de cobertura del elote en los sitios de la aspersión y también a un nivel más interno en los granos.

No se observaron signos del patógeno en zonas alejadas



Figura 1. Signos de *Aspergillus flavus* L. en las mazorcas. La foto a la izquierda muestra la comparación entre controles (parte superior) y plantas inoculadas con el hongo (parte inferior); las fotos a la derecha muestran las masas de esporas en las puntas de la mazorca, entre los granos y entre las hojas.

a las asperjadas, lo cual reflejó la limitada capacidad de infección a través de la planta y de un grano a otro. No obstante esta característica, se ha demostrado que la fuente de inóculo como conidias y esclerocios, permanece latente y en condiciones poscosecha de alta temperatura y humedad relativa puede llevarse a cabo el desarrollo fúngico con la consecuente producción de aflatoxinas (Scheidegger y Payne, 2003).

Los resultados del porcentaje de grano infectado con *A. flavus* se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Porcentaje de grano infectado en plantas de cuatro genotipos de maíz inoculadas con *Aspergillus flavus* L. en el invernadero. Los genotipos H-443A y DK2020Y, reportados respectivamente como resistente y susceptible a la acumulación de aflatoxinas en campo, se consideraron como materiales de referencia.

Genotipo	Plantas sin Inocular	Plantas Inoculadas
ZMT1	0 ±0b*	11.57 ±10.57a
ZMT2	0 ±0b	3.33 ±3.65ab
H443A	0 ±0b	0.00 ±0.00b
ZMS1	0 ±0b	1.45±2.25ab
ZMS2	0 ±0b	6.16 ±8.12ab
DK2020Y	0 ±0b	2.22±3.44ab

*Medias ± desviación estándar seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $P<0.05$).

El genotipo ZMT1 mostró el mayor porcentaje de grano infectado, aunque estadísticamente sólo fue diferente a la variedad H-443A en las plantas inoculadas. En el resto de los genotipos no hubo diferencias significativas con los testigos, debido a la alta variabilidad en los resultados.

Uno de los efectos más relevantes de la contaminación con *A. flavus*, es la concentración de aflatoxinas en el

Cuadro 4. Características agronómicas de plantas de cuatro genotipos de maíz inoculadas con *Aspergillus flavus* L. en el invernadero. Se utilizaron como testigos los genotipos H-443A y DK2020Y, reportados respectivamente como resistente y susceptible a la acumulación de aflatoxinas en campo.

Genotipo	AP (cm)	AM (cm)	HP (No.)	MP (No.)	AT (%)	AR (%)	PBC (%)
ZMT1	183.7±47.15b	84.9±20.1bc	11.6±1.89a	1.0±0.37a	9.52	4.76	100.00
ZMT2	226.9±41.88a	115.6±30.45a	12.4±2.43a	1.5±0.66a	0	0	100.00
H443A	191.1±27.47ab	95.1±11.81ab	13.2±1.95a	1.2±0.44a	0	0	100.00
ZMS1	136.3±31.92c	70.5±19.19c	7.7±1.28c	1.1±0.32a	0	11.11	83.33
ZMS2	170.4±19.4bc	70.4±15.99c	9.6±1.71b	1.1±0.34a	0	6.67	89.47
DK2020Y	205.3±17.62a	93.6±14.49ab	12.6±1.26a	1.5±0.52a	0	0	73.68

Altura de la planta (AP); Altura de mazorca (AM); Hojas por planta (HP); Mazorcas por planta (MP); Acame de tallo (AT); Acame de raíz (AR); Plantas con buena cobertura (PBC).

grano. Los resultados referentes a la evaluación de la acumulación de estas toxinas en los granos, se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Concentración de aflatoxinas en los granos (ppb) de cuatro genotipos de maíz inoculados con *Aspergillus flavus* L. en invernadero. Los genotipos H-443A y DK2020Y reportados respectivamente como resistente y susceptible a la acumulación de aflatoxinas en campo, se utilizaron como testigos.

Genotipo	Plantas sin Inocular	Plantas Inoculadas
ZMT1	1 ± 0b*	349 ± 369ab
ZMT2	0 ± 0b	510 ± 14a
H443A	0 ± 0b	0.5 ± 0.7b
ZMS1	2 ± 0b	0 ± 0b
ZMS2	1.5 ± 0.7b	99 ± 129ab
DK2020Y	nd**	245 ± 120ab

*Medias ± desviación estándar seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $P<0.05$)

**nd= no determinado

La variedad DK2020Y acumuló en promedio 245 ppb, comparado con 0.5 ppb acumulados por H-443A, lo cual corresponden con lo citado por Reyes *et al.* (2008) con relación a su tolerancia a la acumulación de aflatoxinas en el campo y que puede atribuirse a la buena cobertura de las mazorcas observado en H-443A (Cuadro 4).

El resto de los genotipos fueron estadísticamente iguales a los testigos y entre sí. Los genotipos estudiados mostraron un comportamiento pre-cosecha diferente al observado durante el almacenamiento del grano. El genotipo ZMT1 obtuvo el mayor porcentaje de grano infectado y la mayor acumulación de aflatoxinas junto a ZMT2. Nuevamente, se presentó una alta variabilidad en los resultados lo cual, aunado al patrón natural de

acumulación y distribución de las aflatoxinas en los granos, se debió al reducido número de muestras de análisis.

Conclusiones

Los datos obtenidos con la inoculación en invernadero en las condiciones de trabajo permitieron discriminar a los genotipos testigo H-443A como resistentes a la infección por *Aspergillus flavus* L. y a la acumulación de aflatoxinas del genotipo DK2020Y, reportado como susceptible, y de acuerdo a los resultados encontrados con los materiales de interés, ZMT1, ZMT2, ZMS1 y ZMS2, éstos no difieren entre sí en cuanto a la resistencia al patógeno y a la acumulación de aflatoxinas en pre-cosecha.

Agradecimientos

Los autores de este estudio agradecen la donación de las semillas de maíz a los Dr. Irineo Torres, Ernesto Preciado y Cesar Reyes, investigadores del INIFAP-Bajío.

Literatura Citada

Association of Analytical Communities (AOAC). 1995. Official Method 991.31 Aflatoxins in corn, raw peanuts and peanut butter: Immunoaffinity Column (Aflatest) method. First Action 1991. AOAC-IUPAC Method. pp. 20-21. *In*: AOAC International (Ed.) Official Method of analysis. Natural Toxins. Chapter 49. Arlington, VA, USA. 325 p.

Benítez-Esquivel, G. 2007. Identificación de genes de resistencia a sequía y su relación con la contaminación con aflatoxinas en maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. UNAM. Facultad de Estudios Superiores- Cuautitlán. Cuautitlán Izcalli, Edo. Mex., México. 81 p.

Bogantes-Ledezma, P., D. Bogantes-Ledezma y S. Bogantes-Ledezma. 2004. Aflatoxinas. *Acta Méd. Costarric.* 46 (4): 174-178.

Brooks, T.D., W.P. Williams, G.L. Windham, M.C Willcox and H.K. Abbas. 2005. Quantitative trait loci contributing resistance to aflatoxin accumulation in the maize inbred Mp313E. *Crop Sci.* 45: 171-174.

Bucio-Villalobos, C.M., D. Guzmán-de-Peña y J.J. Peña-Cabriales. 2001. Aflatoxin synthesis in corn fields in Guanajuato, Mexico. *Rev. Iberoam. Micol.* 18: 83-87.

Busboom, K.N. and D.G. White. 2004. Inheritance of resistance to aflatoxin production and *Aspergillus* ear rot of corn from the cross of inbreds B73 and Oh516. *Phytopathol.* 94: 1107-1115.

Cobielles-Castrejón, G. 2007. Identificación de genes relacionados a vigor, longevidad y contaminación con aflatoxinas en semillas de maíz. Tesis de Maestría en

Ciencias. UNAM. Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán. Cuautitlán Izcalli, Edo. Mex. México. 61 p.

García-Aguirre, G., R. Martínez-Flores y J. Melgarejo-Hernández. 2001. Inspección para aflatoxinas en el maíz almacenado o transportado en el estado de Sonora. 1998. *Ann. Inst. Biol. UNAM S. Bot.* 72(2): 187-193.

García-Aguirre, G., R. Martínez-Flores y J. Melgarejo-Hernández. 2003. Inspecciones para determinar aflatoxinas en maíz en México: I Sonora. *In*: I Panamerican Symposium on Mycotoxins for Industry. April 1-4, 2003. Abstract in Proceedings book. Latinoamerican Society of Mycotoxicology. Mexico, D.F. p. 58.

Guo, B., Z.Y. Chen, R.D. Lee and B.T. Scully. 2008. Drought stress and preharvest aflatoxin contamination in agricultural commodity: genetics, genomics and proteomics. *J. Integr. Plant Biol.* 50 (10): 1281-1291.

Martínez-Flores, R., G. García-Aguirre y J. Melgarejo-Hernández. 2003a. Inspecciones para determinar aflatoxinas en maíz en México: II Tamaulipas. *In*: I Panamerican Symposium on Mycotoxins for Industry. April 1-4, 2003. Abstract in Proceedings book. Latinoamerican Society of Mycotoxicology. Mexico, D.F. p. 59.

Martínez-Flores, R., G. García-Aguirre y J. Melgarejo-Hernández. 2003b. Inspección de aflatoxinas en maíz cultivado, almacenado y transportado en el estado de Tamaulipas, México, en 1998. *Ann. Inst. Biol. UNAM S. Bot.* 74 (2): 313-321.

Moreno-Lara, J. 2004. Estudio comparativo de *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus* en la producción de aflatoxinas bajo diferentes condiciones de humedad y temperatura. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores- Cuautitlán. Cuautitlán Izcalli, Edo. Mex., México. 146 p.

O'brian, G.R., D.R. Georgianna, J.R. Wilkinson, J. Yu, H.K. Abbas, D. Bhatnagar, W. Nierman and G.A. Payne. 2007. The effect of elevated temperature on gene transcription and aflatoxina biosíntesis. *Mycol.* 99 (2): 232-239.

Plasencia, F.J. 2004. Aflatoxins in Maize: A Mexican Perspective. *J. Toxicol.* 23 (2 & 3): 155-177.

Reyes, C., M. Cantú, I. Garza y H. Córdova. 2008. H-443A: Primer híbrido de maíz comercial en México tolerante a aflatoxinas. *Memorias del XXII Congreso Nacional y Segundo Internacional de Fitogenética*, 21 al 26 de septiembre de 2008, Chapingo Edo. Mex., México. No. de trabajo: 244.

Scheidegger, K.A. and G.A. Payne. 2003. Unlocking the

secrets behind secondary metabolism: a review of *Aspergillus flavus* from pathogenicity to functional genomics. J. Toxicol. 22: 423-429.

Tubajika, K.M., H.J. Mascagni, K.E. Damann and J.S.

Russin. 2000. Aflatoxin production in corn by *Aspergillus flavus* relative to inoculation, planting date, and harvest moisture in Louisiana. LAES Research Report Number 102 - March 2000.

Incidencia y Severidad de la Marchitez del *Agave tequilana* Weber Var. azul en la zona sur del Estado de Nayarit, México

Pedro Gómez-Ortiz¹, Abiel Sánchez-Arizpe¹, Gil Virgen-Calleros², Carlos Rubén Carvajal-Cazola³, Emilio Padrón-Corral⁴

¹Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, Colonia Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. Tel. y Fax. 4 11 02 26. E-mail: pele_27@hotmail.com (*Autor responsable). ²Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, A.P. 129, Zapopan, Jal. C.P. 45110. ³Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Nay., México. C.P. 63780. ⁴Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Camporredondo; Edificio D, 25280, Saltillo, Coah., México.

Abstract

Incidence and Severity of Wilting in Agave tequilana Weber Var. Azul in the Southern Area of the Mexican state of Nayarit. In order to assay the incidence and severity of wilting in agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul), caused by *Fusarium oxysporum* in Santa María del Oro, Nay., Mexico, two systematic samplings were carried out, the first one in August 2006 (rainy season) and the second one in March 2007 (dry season). A third sampling, focused on plants that showed a grade 2 of wilting, was carried out founding different degrees of wilting in the agave plants with values ranging from 83 to 100% in all locations. For the first sampling date (August 2006) prevalence values were found in different plots ranging from 83.5 to 94%, while on the second date (March 2007), values ranged from 98.5 to 100%. In the third sampling the pathogen was present, with grade 2, in 40 to 75% of the plants.

Keywords: Agave diseases, *Fusarium oxysporum*, incidence and severity.

Resumen

Se determinó la incidencia y severidad de la marchitez del agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul), causada por *Fusarium oxysporum* en Santa María del Oro, Nayarit. Se realizaron dos muestreos en forma sistemática, uno en agosto de 2006 (temporada de lluvias) y otro en marzo de 2007 (temporada seca). Se realizó un tercer muestreo dirigido a plantas que presentaron un grado 2 de marchitez. Se encontraron diferentes grados de marchitez del agave con valores que van desde 83 a 100 % en todas las localidades. Para la primer fecha de muestreo (agosto 2006) se encontraron valores de incidencia en las diferentes parcelas que van de un 83.5 a 94 %, mientras que en la segunda fecha (Marzo 2007), se observaron valores que van de un 98.5 a 100 %. En el tercer muestreo el patógeno estuvo presente, con grado 2, en un 40 a 75 % de las plantas.

Palabras clave: Enfermedades del Agave, *Fusarium oxysporum*, incidencia y severidad.

Introducción

El Diario Oficial de la Federación publicó en octubre de 1997 la Declaración General de Protección a la Denominación de Origen del Tequila (DOT), donde se consideran como zonas bajo protección a todos aquellos municipios que comprenden la DOT en los que se incluyen todos los municipios de Jalisco, 7 de Guanajuato, 31 de Michoacán, 11 de Tamaulipas y 8 de Nayarit. A nivel nacional, el cultivo de agave (*A. tequilana* W. var. Azul)

ocupa una superficie estimada en más de 179 mil ha. De los estados mexicanos con DOT, la mayoría de la superficie está plantada en Jalisco con más de 123 mil ha. En el estado de Nayarit se tiene una superficie de 9,777 ha del cultivo de agave en los municipios con DOT que son: Ahuacatlán, Amatlán de Cañas, Ixtlán del Río, Jala, San Pedro Lagunillas, Santa María del Oro, Tepic y Xalisco, lo mismo que en otros fuera de la denominación con una superficie menor a 350 ha.

Indudablemente, las enfermedades de las plantas son consideradas como uno de los factores que afectan severamente a la producción agrícola. El cultivo de agave no ha escapado a esta situación, ya que en años recientes se ha visto afectado por una serie de fitopatógenos que reducen el desarrollo normal, e incluso, pueden llegar a causar la muerte de la planta (Martínez *et al.*, 1998).

En 1987 el agave tequilero presentó un problema que alertó a todos los agricultores de este cultivo: las hojas de las plantas mostraron un enrollamiento anormal, posteriormente se observó una necrosis regresiva, secamiento total de las hojas y finalmente la muerte de la planta (Aceves, 2003). El nombre que se le dio fue marchitez o tristeza del agave (Aceves, 1999; Fucikovsky, 2004); el agente causal de esta enfermedad ha sido citado principalmente como *Fusarium oxysporum* (Luna, 1996).

Sin embargo, es poca la información existente con respecto a esta enfermedad y la mayoría ha sido reportada para el estado de Jalisco, por lo que se desconoce si está presente en otras regiones, así como el impacto del patógeno sobre el cultivo; ante tal situación, existe la necesidad de generar conocimiento básico, enfocado a los factores que favorecen el desarrollo y diseminación de la marchitez del agave. En el estado de Nayarit se desconoce el alcance de la afectación de este patógeno en el cultivo del agave tequilero, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar la incidencia y severidad de la marchitez del agave en plantaciones del municipio de Santa María del Oro, Nayarit.

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio

El trabajo de campo se realizó en cuatro sitios del municipio Santa María del Oro, Nay., se seleccionaron parcelas del ejido San Leonel, situadas a 1,120 m de altitud y localizadas geográficamente a 21° 20' 35" LN y 104° 40' 02" LO; El Ermitaño, a una altitud de 1,450 m y a 21° 18' 00" LN y 104° 43' 35" LO; Colonia Moderna a 840 m de altitud y a 21° 27' 18" LN y 104° 36' 40" LO; y Santa María del Oro, a 1,177 m de altitud y a 21° 20' 15" LN y 104° 36' 33" LO.

El trabajo de laboratorio se realizó en el Centro Multidisciplinario de Investigación Científica de la Universidad Autónoma de Nayarit y en el laboratorio de Fitopatología del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en los estados mexicanos de Nayarit y Coahuila, respectivamente.

Sitios de muestreo

Los predios, seleccionados al azar, fueron parcelas con agaves de cuatro años de edad, representativos de la zona con base en un padrón de productores. Se obtuvo información por municipio de la superficie sembrada y se trató de cubrir la mayor parte del área de estudio.

Tipo de muestreo

Se realizaron dos muestreos: uno en agosto de 2006, en la temporada de lluvias y el otro en marzo de 2007, en la temporada seca, para contrastar las dos temporadas y detectar efectos causados por la humedad. Ambos muestreos se realizaron en forma sistemática en dos parcelas de cada ejido, utilizando el método descrito por Virgen (2004).

Se tomaron cinco hileras por parcela y 20 plantas de cada hilera seleccionada, una vez localizado el sitio a muestrear se contaron cinco hileras, las cuales se utilizaron como borde y en la sexta hilera se inició el conteo de plantas; de igual manera, se dejaron las primeras cinco plantas con respecto a la cabecera del predio para evitar el efecto orilla e iniciar la toma de datos a partir de la sexta planta y en las siguientes 20 plantas de cada hilera. Esto se repitió cinco veces para tener un total de 100 plantas muestreadas.

Se realizó un tercer muestreo dirigido a plantas que presentaron grado 2 de la enfermedad (Cuadro 2) de acuerdo a la escala visual para severidad reportada por Martínez *et al.* (1998). Este muestreo se realizó en forma directa cortando partes de las plantas para trasladarlas al Laboratorio de Fitopatología de la (UAAAN), donde se procesaron con la finalidad de corroborar la presencia del patógeno en las plantas.

Determinación de Incidencia y Severidad

Se registraron los siguientes datos: nombre del predio, nombre del productor, edad del cultivo, distancia entre plantas, distancia entre surcos, ejido, municipio, superficie plantada y los índices de sanidad con respecto a marchitez. Para determinar el grado de severidad de la marchitez del agave, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Se midieron los efectos sobre el desarrollo de la planta, incidencia y severidad en las zonas de estudio. Para determinar el porcentaje de plantas enfermas, se empleó la fórmula:

$$IE(\%) = \frac{\text{No. plantas enfermas} - \text{plantas sanas}}{\text{No. total plantas}} \times 100$$

Donde: IE= Incidencia.

Para el caso de severidad se empleó una escala arbitraria propuesta por Martínez *et al.* (1998), descrita en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Escala para evaluar el daño de marchitez del agave por *Fusarium* sp.

Índice	Descripción
1	Planta sana
2	De 1 a 5 hojas externas con un rizado ligero
3	De 6 a 10 hojas externas con un rizado ligero
4	Plantas con más de 10 hojas con un rizado acentuado
5	Planta muerta, fácil de desprender del suelo

Se utilizó un diseño de bloques al azar con dos tratamientos en ocho repeticiones.

Resultados y Discusión

Incidencia

En todas las localidades se encontró una presencia de 83 a 100 % de la marchitez del agave, esto coincide con lo reportado por Aceves (2003). En los muestreos realizados en época de lluvias (agosto 2006) y secas (marzo 2007) se tuvo una incidencia para las diferentes parcelas de 83.5 a 94 % y de 98.5 a 100 %, respectivamente (Figura 1). En El Ermitaño, se presentó una incidencia entre 83 y 100 % para el periodo de lluvias y secas correspondientemente; mientras que en Santa María del Oro fue de 94 y 98.5 %

para ambas fechas de muestreo, coincidiendo con lo reportado por Aceves (2003) en plantaciones de agave en los Altos de Jalisco, donde reportó una incidencia de 20 a 100 %; a su vez, este resultado contrastó con la incidencia de 13.2 % reportada por el mismo autor para 1999. En el tercer muestreo dirigido a plantas con grado 2 en San Leonel, se encontró el patógeno en el 40 % de las plantas; mientras que en Santa María del Oro y El Ermitaño en un 70 % y 75 % en parcelas de Colonia Moderna. Estos resultados son superiores a los reportados por Virgen (2004), quien menciona una incidencia del 34 % en parcelas de agave en Los Altos de Jalisco.

En el Cuadro 2, se muestra la incidencia de la marchitez del agave en las parcelas muestreadas en época de lluvias y secas, en cada uno de los ejidos. Se presentó una mayor incidencia en la época de secas en comparación con la de lluvias, esto se debió a que, en la primera, los síntomas se presentan con mayor visibilidad debido al estrés hídrico; esto contrasta con lo reportado por Aceves (2003) y Castro (2003) quienes mencionan que la mayor incidencia de la enfermedad se presentó en terrenos muy húmedos y con alta humedad relativa en el ambiente provocada por el temporal; al respecto Flores *et al.* (2002), reportan que el exceso de humedad favorece la marchitez del agave causada por *Fusarium* sp.; sin embargo al comparar los resultados de incidencia para las dos fechas (lluvias y secas) con los resultados del tercer muestreo, se observa que la presencia del patógeno disminuyó notablemente.

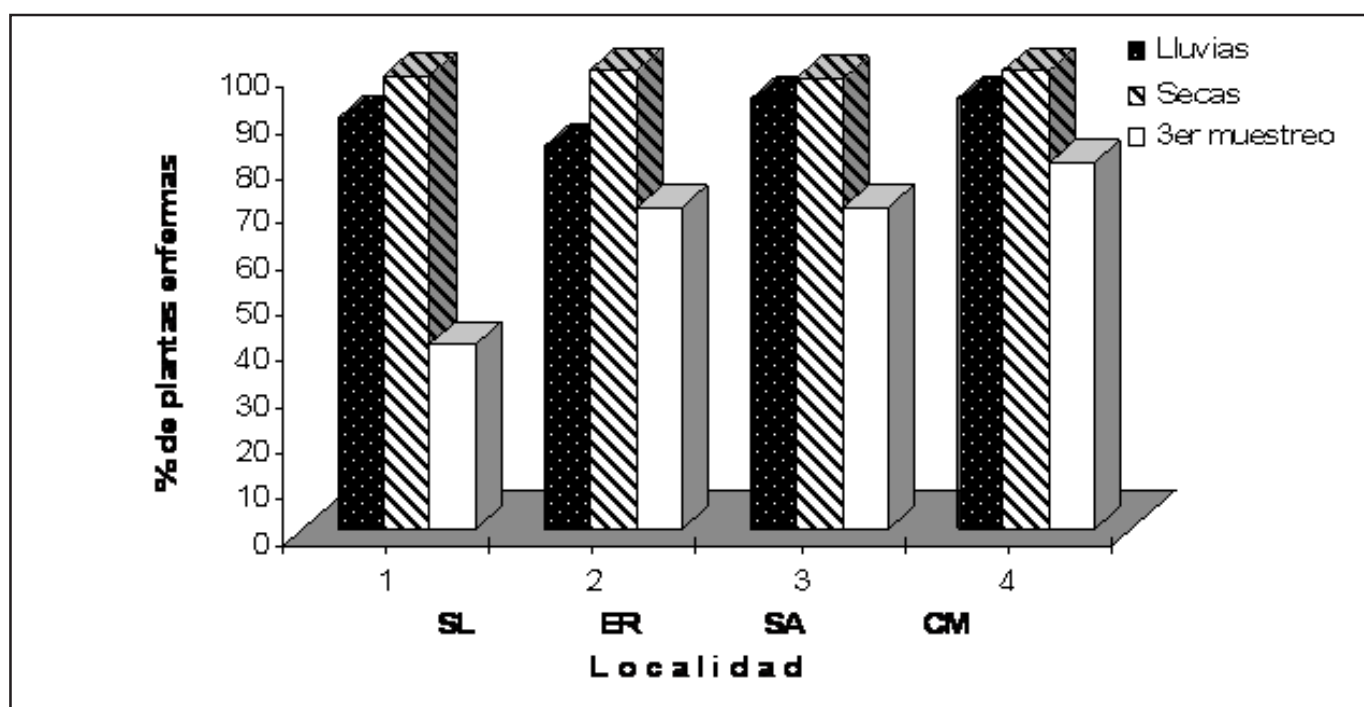


Figura 1. Incidencia de la marchitez del agave en parcelas del municipio de Santa María del Oro, Nay., México. SL= San Leonel, ER= Ermitaño, SA= Santa Maria del Oro, CM= Colonia Moderna.

Cuadro 2. Incidencia de la marchitez del agave por parcelas en cuatro ejidos del municipio Santa María del Oro, Nay., México.

Ejido	Parcela	Incidencia (%)		3er muestreo*
		Lluvias	Secas	
San Leonel	Las Tepameras	99	100	20
	La Hiedra	81	98	20
El Ermitaño	Los Pozos	99	100	50
	Valle El Chayote	68	0**	30
Santa María	Los Pozos	100	100	40
	Tepezotepelt	88	97	30
Colonia Moderna	El Colorado	93	100	30
	El Jareño	95	100	50

* Muestreo dirigido a plantas con grado 2 de la escala de severidad en todas las parcelas.

** No se registró la incidenciaEl daño causado por *Fusarium spp.* en agave azul en el municipio de Santa Maria del Oro osciló de 0 a 60 %, al respecto Luna (1996), reporta daños por *Fusarium oxysporum* en agave del estado de Jalisco con valores que van de 0 a 98 %.

Severidad

La severidad de la marchitez del agave se presentó en mayor porcentaje en los grados 2 y 3 en todas las parcelas muestreadas para época de lluvias y secas, respectivamente (Cuadro 3). En parcelas de Colonia Moderna se encontró la mayor severidad en el grado 2 (59 – 60 %) para ambas fechas de muestreo. Esto coincide con lo reportado por Castro (2003), que reporta un 54 % de severidad en el municipio de Autlán de Navarro, Jal. Para las parcelas de San Leonel, se observó que la mayor severidad se presentó en el grado 3 y 2 (50 y 55.5 %), para lluvias y secas respectivamente, coincidiendo esto con lo reportado por Castro (2003) para el municipio de Tonaya, Jalisco con 60 % para el grado 3. En los ejidos de El Ermitaño y Colonia Moderna para la temporada de secas no se presentó ningún porcentaje de severidad en grado 1, lo cual coincide con lo reportado para el municipio de Tonaya, Jal. (Castro, 2003), igualmente sin porcentaje de severidad para el grado 1. En parcelas de El Ermitaño se encontró en la temporada de lluvias para el grado 1, la mayor cantidad de plantas sanas con un 16.5 %, al respecto Castro (2003) reporta un porcentaje de plantas sanas que

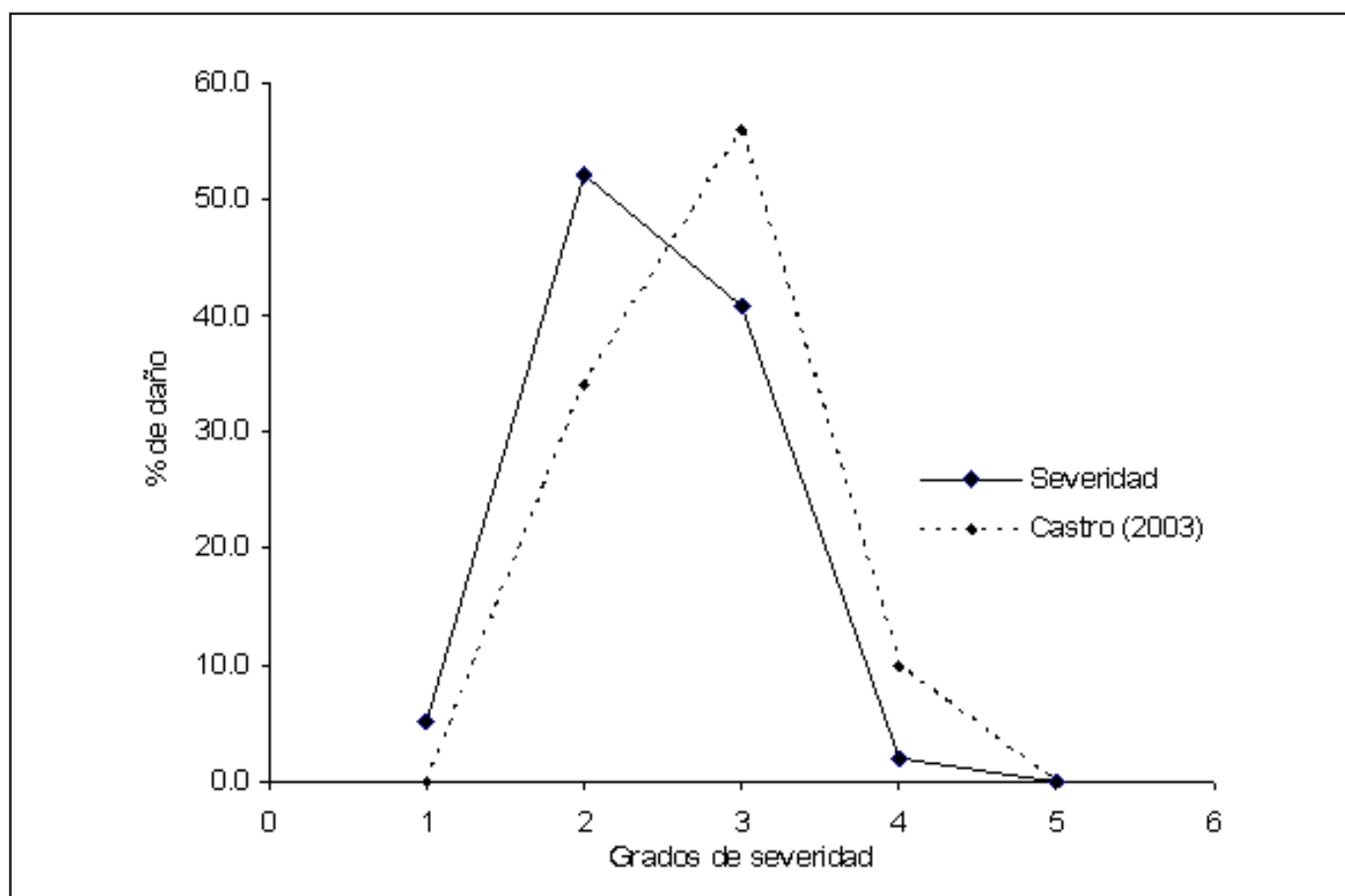


Figura 2. Calificación de los cinco grados de severidad de la marchitez del agave en la región sur del estado de Nayarit (2006-2007)

van de un 35 a 68 %, para los municipios de Autlán de Navarro, Cocula, Jocotepec, Villa Corona y San Gabriel del estado de Jalisco.

Cuadro 3. Severidad de la marchitez del agave en las localidades de Santa María del Oro, Nay., México en época de lluvias y secas.

Ejido	Época de Muestreo	Índice de Severidad (%)				
		1	2	3	4	5
San Leonel	Lluvias	10.0	40.0	50.0	0.0	0
	Secas	1.0	55.5	41.0	2.5	0
El Ermitaño	Lluvias	16.5	44.0	36.5	3.0	0
	Secas	0	47.0	47.0	6.0	0
Santa María del Oro	Lluvias	6.0	55.0	38.0	1.0	0
	Secas	1.5	55.5	40.0	3.0	0
Colonia Moderna	Lluvias	6.0	60.0	34.0	0	0
	Secas	0	59.0	40.0	1.0	0

En la Figura 2 se observa que, en la zona sur del estado de Nayarit, específicamente en el municipio de Santa María del Oro, la severidad fue mayor en grado 2 con un 52 %, seguido por el grado 3 con un 41 % en las dos fechas de muestreo. Esto coincide con lo reportado para el municipio de Tonaya, Jal. (Castro, 2003), encontrando un porcentaje mayor de plantas con grado 2 y 3, mientras que en los grados 4 y 5 el porcentaje de plantas enfermas fue menor al tres por ciento.

Conclusiones

En las plantaciones de agave del municipio de Santa María del Oro, Nay., México se encontró un 83 a 100 % de marchitez en época de secas y lluvias. En El Ermitaño la incidencia de la marchitez del agave fue menor al 83 % en la época de lluvias, mientras que en época de secas fue del 100 %, al igual que San Leonel. La mayoría de las plantas del municipio de Santa María del Oro se encontraron en grado 2 de severidad y en parcelas de San Leonel se detectó el 40 % del patógeno en plantas con grado 2.

Literatura Citada

- Aceves, R. J. J. 1999. Diagnostico del sistema de producción de agave con énfasis en problemas fitosanitarios. Informe de investigación. Campo experimental Altos de Jalisco. CIRPAC-INIFAP. p 4.
- Aceves, R. J. J. 2003. Prevención y manejo integral de la marchitez del *Agave tequilana* Weber var. Azul en Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo experimental Altos de Jalisco. Folleto Técnico No. 1. 62 p.
- Castro, V. R. A. 2003. Incidencia y distribución de la marchitez y pudrición del cogollo del agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul) en la zona sur de Jalisco. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Guadalajara. 53 p.
- Flores, L. H. E., Byerly, M. K. F., Aceves, R. J., Ireta, M. J., Alemán, R. P., Soltero, Q. R; Álvarez, M. C., Castañeda, V. H y Rodríguez, M. P. 2002. Análisis Agroecológico del *Agave tequilana* Weber var. Azul con énfasis en programas fitosanitarios. Publicación especial No. 1. Tepatitlán, Jal., México. CEAJAL-CIRPAC-INIFAP. 157 p.
- Fucikovsky, Z. L. 2004. *Agave tequilana* Weber var. Azul y sus principales problemas fitosanitarios. pp 148-159. In: Avances de la investigación en el agave tequilero.
- Luna, H. G. 1996. Pudrición del tallo de *Agave tequilana* L. Weber en el Estado de Jalisco, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. 58 p.
- Martínez, R. J. L., Vázquez, G. M., Pimienta, B. E., Bernal, M. F., Flores, M. F., Ibarra, D. R., Torres, M. P., Cuevas, C. H., Martín del Campo, M. N., Rodríguez, R. R. y Virgen, C. G. 1998. Proyecto: Epidemiología y manejo integrado de problemas fitosanitarios en *Agave tequilana* Weber var. Azul. Rev. Mex. Fitopatol. 16 (1): 116.
- Virgen, C. G. 2004. Epidemiología y Manejo Integrado de problemas fitosanitarios en *Agave tequilana* Weber var. Azul. Enfermedades de agave tequilero. pp 95-116. In: Avances de la investigación en el agave tequilero. Consejo Regulador del Tequila. (CRT).

Aislamiento y Caracterización de Bacterias Endófitas Asociadas con Síntomas de Punta Morada de la Papa

María Isabel Notario-Zacarías¹, Alberto Flores-Olivas^{1*}, Gabriel Gallegos-Morales¹, Oswaldo García-Martínez¹, Víctor Olalde-Portugal²

¹Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923. Col. Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. Apdo. Postal 342. ²Laboratorio de Bioquímica Ecológica, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), Unidad Irapuato, 36500, Irapuato, Gto., México. E-mail: aflooli@uaaan.mx (*Autor responsable)

Abstract

Isolation and Characterization of Endophytic Bacteria Associated with Purple Top Symptoms in Potato. The potato (*Solanum tuberosum* L.) is a very important crop for mankind since, by its volume of production ranks fourth worldwide. It is severely attacked by the purple top disease (PTD), causing big economical losses and increasing production costs. It is considered that phytoplasmas are the main etiological agent of PTD. In a first attempt to isolate phytoplasmas using natural culture media, a lot of endophytic bacteria showed up, but there is not a known explanation of their nature. That's why the aim of this work is to do a general survey of endophytic bacteria in potato plants with PMP, and inquire about their role in them. Through the isolation and recognition of bacteria some genera were identified including: *Labrys*, *Shinella*, and *Ralstonia*. Among the performed tests were included promotion of growth, pathogenicity tests, and antagonism of some phytopathogenic fungi. The obtained results showed that these bacteria do not produce a harmful effect on the potato plants, yet some of them promote its growth and are antagonistic to some plant pathogens. It may also happen that endophytic bacteria help keeping the plant alive even when PTD symptoms are present, due to their antagonistic capacity and growth-promoting effect, since although the bacteria have only one of these capacities, the plant is enhanced with the combined benefits of them all.

Key words: Antagonism, bacterial niche, potato diseases, endophytic bacteria

Resumen

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo muy importante para la humanidad, ya que por su volumen de producción ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, y es atacado severamente por la enfermedad punta morada (PMP), lo que ocasiona grandes pérdidas e incrementa los costos de producción. Se considera que los fitoplasmas son el principal agente etiológico de la misma. En un primer intento por aislar fitoplasmas mediante el uso de medios de cultivo naturales, se observó una gran cantidad de bacterias endófitas y, desconociéndose la explicación de su naturaleza, se propuso hacer, en este trabajo, un sondeo general de las bacterias endófitas en plantas de papa enfermas con PMP e indagar respecto a su función en ellas. A través del aislamiento y reconocimiento de las bacterias se identificaron algunos géneros, entre otros: *Labrys*, *Shinella*, y *Ralstonia*. Entre los ensayos realizados destacan la promoción de crecimiento, pruebas de patogenicidad, y antagonismo a algunos hongos fitopatógenos. Los resultados obtenidos demostraron que dichas bacterias no producen efecto perjudicial en las plantas de papa, algunas de ellas son promotoras de crecimiento y son antagónicas a algunos agentes fitopatógenos, asimismo, pudiera ser que las bacterias endófitas encontradas ayuden a mantener viva a la planta aún con la sintomatología de PMP, debido a su capacidad antagónica y al efecto promotor de crecimiento ya que, si bien las bacterias únicamente presentan alguna de estas capacidades, la planta se ve favorecida con los beneficios conjuntos.

Palabras clave: Antagonismo, nicho bacteriológico, enfermedades de la papa, bacterias endófitas

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más importantes para la alimentación de gran parte de la población en todo el mundo, debido a que proporciona un valioso aporte de vitaminas, minerales, proteínas, aminoácidos esenciales y carbohidratos (Buckenhüskes, 2005; Van Gijssel, 2005); ocupa el cuarto lugar en la producción mundial de alimentos, después del trigo, maíz y arroz, y anualmente se producen más de 300 millones de toneladas en aproximadamente 18 millones de hectáreas. En México, también constituye uno de los cultivos más importantes, debido a su trascendencia económica y social (Estévez *et al.*, 2001) con una producción anual de aproximadamente 1 millón 480 mil toneladas, en 65 mil 700 hectáreas (SIAP, 2010).

El cultivo de la papa es susceptible a más de 300 plagas, aunque no todas ellas causan pérdidas significativas de rendimiento (Hooker, 1981). El tizón tardío, cuyo agente etiológico es *Phytophthora infestans*, es considerado actualmente como la enfermedad de mayor importancia a nivel mundial.

Sin embargo, recientemente se ha identificado en México y otros países, una sintomatología conocida como punta morada de la papa (PMP) (Lee *et al.*, 2006; Munyaneza *et al.*, 2007); inicialmente fue asociada a fitoplasmas (Martínez-Soriano *et al.*, 1999) que son el principal problema fitosanitario por combatir. La relevancia de esta enfermedad radica en el daño a la producción, así como a la calidad del tubérculo.

Debido a la importancia reviste, muchos investigadores se han dedicado a estudiar sus agentes etiológicos; es así como este trabajo se suma a la tarea de indagar más respecto a los microorganismos que se encuentran presentes en el torrente del floema de las plantas que presentan la sintomatología de PMP, y tratar de dilucidar la función de su presencia en estas plantas. El objetivo del presente estudio fue aislar y caracterizar bacterias endófitas de la papa asociadas a la sintomatología de punta morada y conocer su nicho en este sistema.

Materiales y Métodos

Preparación de Medios de Cultivo

Se licuaron 50 g de tejido vegetal, incluyendo hojas, tallos, brotes terminales, raíces y tubérculos, usando como medio base sales Dubo, cuyos constituyentes son: K_2HPO_4 , 1.0 g; $NaNO_3$, 0.5 g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.5 g; KCl, 0.5 g; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.01 g L^{-1} de agua destilada, a un pH de 6.7. El licuado se centrifugó dos veces a 10,000 rpm por 6 min. El sobrenadante se aforó a un litro, con el medio de sales y 18 g de agar; después se esterilizó en autoclave

por 20 min, y antes del vaciado en placa, se adicionaron 50 μ g L de ampicilina.

Se prepararon cuatro medios: los dos primeros incluyeron los jugos de tejidos aéreos de la planta; a uno de ellos se agregó aceite de aguacate al 1 %; los dos medios restantes contenían los jugos de tejidos subterráneos, y de los cuales uno tiene aceite de aguacate al 1 % como agente de tensión en el medio, agregado antes de esterilizar.

Aislamiento y Purificación de Bacterias

El inóculo, que consistió en brotes axilares, tubérculos aéreos, tubérculos y estolones, se desinfectó con hipoclorito de sodio a concentración del producto comercial durante 3 min; seguido de dos pasos de lavado con agua destilada estéril (2 min); un lavado en leche ultrapasteurizada y un lavado con agua destilada estéril. Posteriormente, se maceró con 20 mL de medio de sales Dubo y se sembró 1 mL del inóculo original y las diluciones 1×10^{-1} , 1×10^{-2} y 1×10^{-3} , por inmersión en los medios preparados. Después se incubó durante 15 días a 26 °C, con transferencia periódica de colonias emergentes mediante el método de picadura.

Selección de Aislados Bacterianos

Las cepas aisladas se traspasaron a cada uno de los medios de cultivo; se observó la morfología colonial en ellas y se seleccionaron las que mostraron morfología diferente. Después se sembraron en medio papa-dextrosa-agar (PDA) para observar su capacidad de crecimiento en medios convencionales para una posterior manipulación en ellos.

Caracterización General e Identificación Molecular

Morfología colonial, celular y prueba de Gram. Los aislados bacterianos se sembraron en placas con PDA por el método de estría cruzada y se incubaron a 28 °C. La prueba de Gram y descripción de forma y tamaño celular se realizaron en aislados que crecieron durante 24 h. La morfología colonial se describió en aislados de 48 h de crecimiento; las variables consideradas fueron: tamaño, color, forma, bordes, elevación, superficie, aspecto, luz transmitida, consistencia y luz reflejada.

Tiempo de generación. Se inocularon matraces de Erlenmeyer de 250 mL, conteniendo 80 mL de caldo nutritivo preparado con 2.5 g de extracto de levadura; 5.0 g de peptona de caseína y 1.0 g L^{-1} de glucosa, con 1 mL de cultivo de cada aislado, crecido durante la noche; se incubaron a 28 °C y centrifugaron a 170 rpm. La siembra se hizo en placa con agar nutritivo en un contador de colonias Autoplate 4000 Automated Spiral Plater (Spiral

Biotech). El crecimiento poblacional bacteriano se midió con absorbancia a 640 nm; el conteo de unidades formadoras de colonia por mL (UFC mL⁻¹) se realizó cada 3 h a partir de la inoculación. La medición de absorbancia sirvió para correlacionar con el conteo de las UFC. Las placas sembradas se incubaron a 28 °C hasta por 48 h. El conteo de UFC mL⁻¹ se hizo de acuerdo a las indicaciones del manual del Spiral Biotech. Los datos obtenidos se ajustaron de acuerdo al modelo logístico

$$\text{Verhulst-Pearl: } N = \frac{k}{1 + e^{-a \cdot (m^*t)}}$$

Resistencia a antibióticos. La susceptibilidad a los antibióticos se determinó utilizando multidiscos combinados BIO-RAD. Se sembraron 100 µL de cada aislado de una noche de cultivo, mediante extensión en placas de 190 mm, conteniendo agar nutritivo; se colocó un multidisco con 12 antibióticos y se incubó durante 1 h a 4 °C y posteriormente durante 24 h a 28 °C. Se midieron los diámetros de halos de inhibición generados por cada antibiótico, y se compararon con la tabla de datos proporcionada por la empresa.

Efecto de la concentración de dextrosa sobre el desarrollo colonial. Se inocularon por duplicado 15 µL de cada aislado bacteriano, de una noche de crecimiento, en tubos de ensayo con 15 mL de medio de infusión de papa y seis concentraciones de dextrosa (1, 5, 10, 15, 20 y 25 %). El crecimiento se determinó con la medición de absorbancia a 640 nm en periodos de 24 h durante seis días.

Pruebas de antagonismo ante agentes fitopatógenos. Las pruebas se realizaron contra cepas de *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Pythium* sp., proporcionadas por el Laboratorio de Bioquímica Ecológica del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN). Para cada uno de los patógenos, se sembraron discos de 0.3 mm de diámetro en el centro de placas con infusión de PDA y se incubaron a 28 °C hasta alcanzar un crecimiento radial de 0.5 cm. Para confrontarlos con los aislamientos bacterianos, se trazaron dos líneas equidistantes del centro de crecimiento del hongo, en cada placa, con 15 µL de cultivo previamente crecido. Se utilizó caldo nutritivo como control. Se incubaron nuevamente y el crecimiento radial de los agentes fitopatógenos se midió cuando éstos alcanzaron la línea trazada por el control (caldo nutritivo). Los aislados bacterianos, el control negativo y *Pythium* sp. se sembraron al mismo tiempo debido al crecimiento rápido de esta alga, su medición se realizó después de 24 h de incubación. El análisis estadístico se realizó mediante un

análisis de varianza y comparación de medias DMS al 0.01 de significancia, para cada agente fitopatógeno estudiado.

Secuenciación de la región 16S ADNr. Se partió de la extracción de ADN cromosómico, para ello se empleó el método de Harwood y Cutting (1990) modificado. Se tomó una alícuota de cultivo bacteriano de una noche de crecimiento y se centrifugó a 14,000 rpm por 6 min. Se decantó el sobrenadante y se adicionaron a la pastilla 100 µL de buffer de lisis (NaCl, 0.1 M; EDTA, 50 mM, pH7.5) y se centrifugó por 4 min. El sobrenadante se decantó y se adicionaron 250 µL de buffer de lisis junto con 25 µL de N-sarcosina. Se mezcló con 5 µL de proteinasa K y se incubó por 10 min a temperatura ambiente; en seguida se incubó 30 min a 80 °C con agitación de 300 rpm. Posteriormente, se transfirió a hielo durante 5 min, se atemperó, se adicionaron 2 µL de RNasa y se incubó a temperatura ambiente por 10 min. Luego se añadieron 330 µL de una solución cloroformo: alcohol isoamílico (24:1) y se centrifugó por 10 min a 14,000 rpm.

Después se separó la fase acuosa y se agregaron 200 µL de solución cloroformo: alcohol isoamílico, se mezcló y centrifugó a 14,000 rpm durante 10 min. Después de repetir este paso se agregaron 20 µL de acetato de sodio 3 M, pH 5.2 y 500 µL de isopropanol frío. Se incubó durante 20 min a 4 °C y se centrifugó a 14,000 rpm por 15 min. La pastilla se lavó con etanol al 70 %, se resuspendió en 25 µL de agua ultrapura y se almacenó a 4 °C.

La amplificación de la región del gen ADNr 16S se realizó con los iniciadores de secuencia generales Fd1 y rP2 (Weisburg *et al.*, 1991). La reacción de PCR constó de 1µL de preparación de ADN, amortiguador de Taq ADN polimerasa 1X, MgCl₂ 2 mM, dNTPs 0.2 mM, iniciadores de secuencia 1pM, Taq ADN polimerasa 1 UDO (Invitrogen Technologies). La reacción se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones de amplificación: 5 min de desnaturalización inicial a 94 °C; 30 s de desnaturalización a 95 °C, 45 s de alineamiento a 60 °C, 1 min de extensión a 72 °C (28 ciclos) y 5 min de extensión final a 72 °C. El segmento amplificado se insertó en un vector TOPO 2.1, utilizando el Kit TOPO TA Cloning (Invitrogen) y se multiplicó en células quimiocompetentes. El vector con el inserto se aisló mediante una lisis alcalina (Birnboim y Doly, 1979). Se comprobó la integridad del ADN; se ajustó la concentración de ADN plasmídico a 2µg µL⁻¹ y se envió a secuenciar al Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad del CINVESTAV-IPN. Las secuencias se sometieron a una comparación dentro de la base de datos del GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Caracterización para Determinar Promoción de Crecimiento

Crecimiento en medio 1-aminocicloporpano-1-ácido carboxílico (ACC). Se preparó un medio mínimo de sales DF (Dworkin y Foster, 1958) con el uso de ACC como fuente de nitrógeno (Penrose y Glick, 2003). Los aislados se sembraron mediante el depósito de 15 µL de cultivo bacteriano de una noche de crecimiento en discos de papel absorbente de 0.5 cm de diámetro, adheridos a la superficie del medio de cultivo. Se dejó incubar a 28 °C durante 3 días y se observó el crecimiento de los aislados en el contorno de los discos.

Producción de sideróforos. Se utilizó el medio agar-CAS, preparado de acuerdo a la metodología descrita por Alexander y Zuberer (1991). Los aislados se sembraron en placas de agar-CAS, mediante el método de estría cruzada y se incubaron a 28 °C durante 4 días para observar el crecimiento colonial de color naranja y el halo del mismo color en el medio, lo cual es indicativo de la liberación de hierro a partir del complejo colorido Fe-CAS por parte de los sideróforos bacterianos.

Efecto de estimulación de crecimiento. Se utilizó semilla de sorgo variedad Caloro BJ86 libre de residuos de productos biocidas, se desinfectó con hipoclorito de sodio al 2 % durante 2 min y se lavó dos veces con agua destilada estéril. Las semillas se colocaron en cámara húmeda para promover su germinación; posteriormente, las plántulas se trasplantaron en sustrato estéril en un invernadero. Al mismo tiempo, las plántulas se inocularon con los aislados bacterianos, el control positivo (*Bacillus subtilis* cepa comercial Kodiak) y el control negativo (infusión papa-dextrosa). Se inocularon seis plántulas por tratamiento, cada una con 3 mL de cultivo crecido durante la noche. Las plantas se extrajeron del sustrato y se midieron las variables: volumen de raíz, número de raíces adventicias, longitud total y peso seco de raíz y vástago. Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar y los datos se procesaron por separado mediante un análisis de varianza.

Prueba de patogenicidad *in vitro*. Se sub-cultivaron yemas axilares de papa variedad Fábula en tubos de crecimiento conteniendo medio de sales base Murashige y Skoog con micronutrientes y vitaminas mínimos (MSMO, Sigma-Aldrich), sacarosa (3 % p/v) como fuente de carbono y agar (0.6 % p/v) (Difco, Detroit, MI, USA) y pH ajustado a 5.7. Luego se colocaron en cámara de crecimiento con temperatura de 25 °C y fotoperiodo de 12 h. Después de tres semanas de crecimiento (aproximadamente 6 cm de altura), se inocularon con los aislados bacterianos (cultivo de una noche) y un control

negativo (infusión papa-dextrosa). Cada plántula se hirió por punción en una de sus hojas y en la parte media del tallo. Después de la inoculación, las plántulas se incubaron nuevamente durante tres semanas bajo las mismas condiciones de temperatura y fotoperiodo. Se evaluaron las siguientes variables: vigor de la plántula, síntomas de enfermedad, peso seco de plántula, longitudes del tallo y de raíz. Se utilizó un diseño completamente al azar. El vigor se estableció de acuerdo a los grupos observados en las plantas que constituyeron el experimento; en el grupo de vigor alto se consideraron plántulas con hojas grandes y tallos fuertes; en vigor medio, a plantas con hojas y tallos visiblemente menos fuertes que el grupo anterior; en medio se consideraron plantas con tallos visiblemente delgados y hojas relativamente pequeñas; las últimas dos categorías corresponden plantas etioladas (etiología media y alta), donde se consideró la longitud de la planta para integrarlo en los dos grupos: 4.6-5.6 y 6.1-11 cm, respectivamente.

Resultados

Caracterización General e Identificación Molecular

Se obtuvieron ocho aislados bacterianos provenientes de plantas de papa con síntomas evidentes de PMP. En el reconocimiento molecular, se observó que los aislados tuvieron un alto parecido a *Labrys miyagiensis*, (No. de acceso AB236171); dos de ellos a *Shinella zoogloeoides* (No. de acceso EU373395); uno más fue similar a *Ralstonia metallidurans* (No. de acceso CP000353) y otros a *Bosea* sp. (No. de acceso EU373419). *Variovorax paradoxus* (No. de acceso DQ256487), *Curtobacterium flaccumfaciens*, (No. de acceso AJ310414) y *Curtobacterium* sp. (No. de acceso AJ784400).

Todos los aislados fueron Gram negativo; *L. miyagiensis* mostró una morfología de cocobacilos (1 x 1.5 µm); los aislados de *S. zoogloeoides* fueron bacilos (0.5 x 2.5-3 µm); *R. metallidurans* fue bacilo (0.5 x 2-2.5 µm), *Bosea* sp. fue cocobacilo (1 x 0.5-0.8 µm), *V. paradoxus* fue vibrio (1.5 x 0.5 µm) y *C. flaccumfaciens* y *Curtobacterium* sp. fueron cocobacilos (1 x 0.5 µm).

La morfología colonial de los aislados presentó pocas diferencias entre sí a las 48 h de crecimiento, ya que hasta ese momento en su mayoría fueron colonias extremadamente pequeñas. *L. miyagiensis* presentó un diámetro de 0.45 mm, color blanco, forma circular y borde entero; los aislados de *S. zoogloeoides* fueron de 0.69-0.88 mm de diámetro, color blanco, forma circular y borde entero; *R. metallidurans* tuvo 3.31 mm de diámetro, color beige-amarillo, forma circular y borde ondulado; *Bosea* sp. midió 0.22 mm de diámetro, presentó color blanco, forma circular y borde entero; *V. paradoxus* midió 0.24

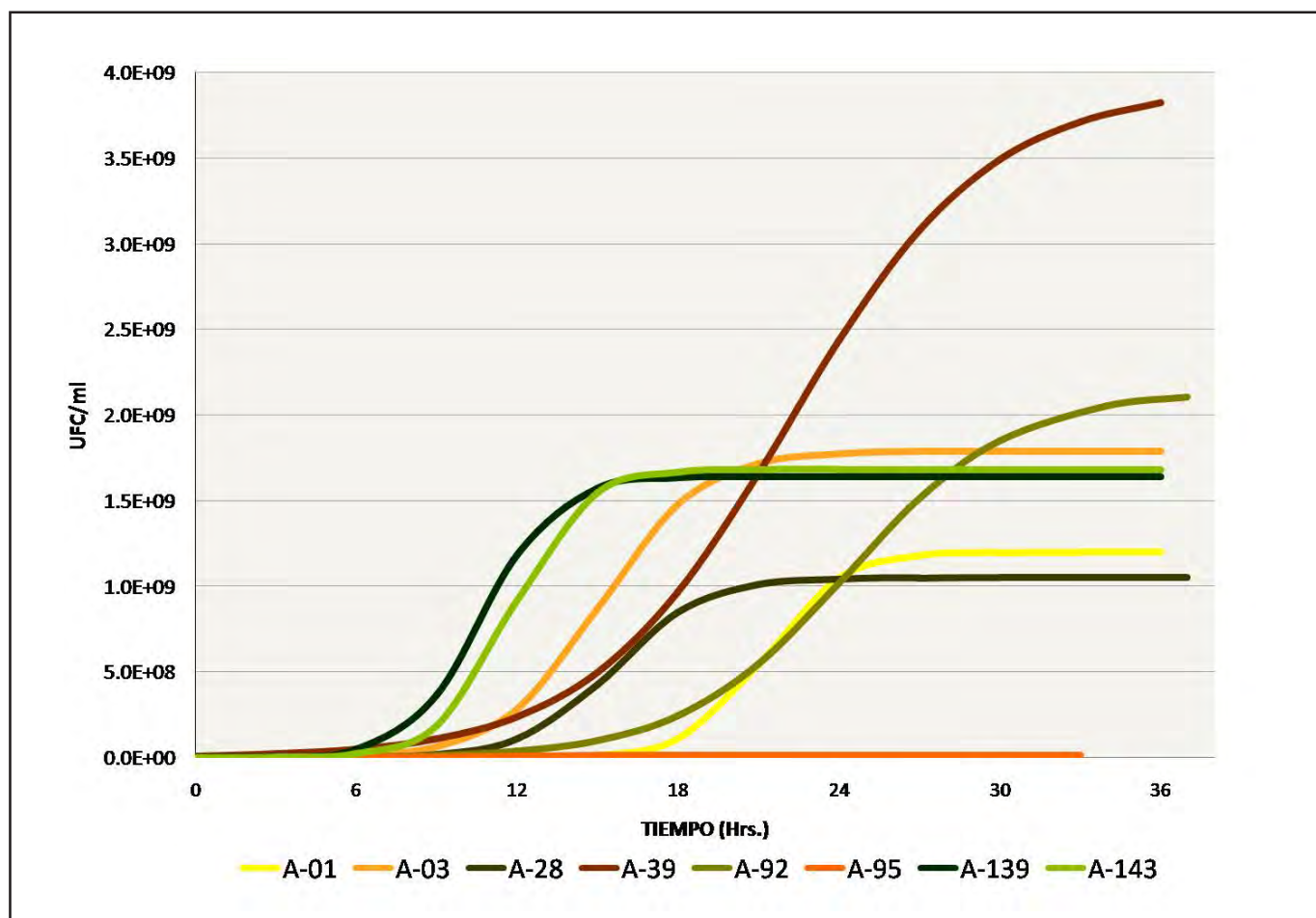


Figura 1. Tiempos de generación de ocho aislados bacterianos endófitos de papa con sintomatología de punta morada de la papa. A-01 *L. miyagiensis*, A-03 *S. zoogloeoides*, A-28 *S. zoogloeoides*, A-39 *R. metallidurans*, A-92 *Bosea* sp., A-95 *V. paradoxus*, A-139 *C. flaccumfaciens*, A-143 *Curtobacterium* sp.

mm de diámetro y las demás características fueron iguales al aislado anterior; *C. flaccumfaciens* midió 2.03 mm de diámetro, de color beige-amarillo, forma circular y borde entero y *Curtobacterium* sp. midió 1.97 mm de diámetro y las demás características fueron iguales al aislado anterior.

Tiempo de generación

El crecimiento poblacional de los aislados se comportó de forma distinta en cada aislado. La correlación (R^2) se

mantuvo dentro del límite 0.8-0.99. Los aislados mostraron diferencias marcadas en el número de células generado por cada aislado al momento de alcanzar la fase estacionaria, de donde, *V. paradoxus*, alcanzó su mayor número de células viables a las 24 h con 1.55×10^7 UFC mL^{-1} , en contraste con *R. metallidurans*, que alcanzó 3.92×10^9 UFC mL^{-1} en 36 h. La Figura 1 muestra el comportamiento del crecimiento poblacional de los aislados en estudio; y el Cuadro 1 presenta las constantes para los

Cuadro 1. Valores de constantes de velocidad específica de crecimiento (m) y capacidad portadora del medio (k) de los aislados endófitos de papa, generados en las cinéticas de crecimiento.

Organismo	k	m	Organismo	k	m
<i>L. miyagiensis</i>	1.2E+9	0.700	<i>Bosea</i> sp.	2.14E+9	0.326
<i>S. zoogloeoides</i>	1.79E+9	0.534	<i>V. paradoxus</i>	1.55E+7	0.452
<i>S. zoogloeoides</i>	1.05E+9	0.599	<i>C. flaccumfaciens</i>	1.64E+9	0.736
<i>R. metallidurans</i>	3.92E+9	0.269	<i>Curtobacterium</i> sp.	1.68 E+9	0.749

$m = UFC mL^{-1}; k = h^{-1}$

aislados, generadas por el modelo logístico usado.

Resistencia a antibióticos. Todos los aislados mostraron resistencia a penicilina, ampicilina y dicloxacilina; *L. miyagiensis*, *Bosea* sp. y *V. paradoxus* fueron resistentes a enoxacina; *R. metallidurans* a netilmicina; *L. miyagiensis*, *R. metallidurans* y *V. paradoxus* a cefalotina; *L. miyagiensis*, *R. metallidurans*, *Bosea* sp. y *V. paradoxus* a gentamicina; *L. miyagiensis* y *V. paradoxus* a ceftriaxona, *S. zoogloeoides*, *C. flaccumfaciens* y *Curtobacterium* sp. presentaron resistencia intermedia a ceftriaxona; *L. miyagiensis* fue resistente a trimetoprim-sulfametoxazol, mientras que *Bosea* sp. manifestó resistencia intermedia al mismo antibiótico; *L. miyagiensis*, *S. zoogloeoides* y *V. paradoxus* fueron resistentes a eritromicina, *S. zoogloeoides* y *Bosea* sp. mostraron una resistencia intermedia a este antibiótico; *L. miyagiensis* y *R. metallidurans*, fueron resistentes a cloranfenicol y *V. paradoxus* mostró resistencia intermedia; finalmente, *R. metallidurans* presentó resistencia ante amikacina, mientras que *L. miyagiensis* y *Bosea* sp. solo mostraron resistencia intermedia. Los aislados fueron resistentes a la ampicilina debido a que este antibiótico se usó en los medios de cultivo al aislarlos de plantas de papa.

Efecto de la concentración de dextrosa sobre el desarrollo colonial. En el medio con dextrosa al 1 % se observó crecimiento de todos los aislados con diferentes ritmos de crecimiento. El segundo aislado de *S. zoogloeoides* fue el único que no creció en el medio con 5 % de dextrosa. En el medio con 10 y 15 % de dextrosa

crecieron *R. metallidurans*, *C. flaccumfaciens* y *Curtobacterium* sp. y en los medios con concentraciones mayores únicamente crecieron los últimos dos organismos. La capacidad de generación de células se vio disminuida en diferente grado en cada aislado a partir de la concentración de 5 % de dextrosa aplicada. En el Cuadro 2, se muestra el comportamiento en el crecimiento de los organismos ante las concentraciones de dextrosa.

Tiempo en horas, en el cual se observó crecimiento bacteriano. El valor encerrado en paréntesis es la absorbancia media registrada en los tiempos de observación. (-) Representa ausencia de crecimiento bacteriano en las respectivas concentraciones de dextrosa.

Pruebas de antagonismo ante agentes fitopatógenos. La cepa de *L. miyagiensis* mostró mayor efecto antagónico contra *Pythium*, *Alternaria* y *Fusarium*; *S. zoogloeoides* contra *Alternaria*; *Bosea* sp. contra *Rhizoctonia*. Por su parte, *C. flaccumfaciens* mostró mejor capacidad antagónica contra *Pythium* y *Fusarium*; y *Curtobacterium* sp. contra *Fusarium*.

Caracterización para Determinar Promoción de Crecimiento

Crecimiento en Medio ACC. A las 24 h de incubación de los aislados en el medio ACC, se observó crecimiento bacteriano en *L. miyagiensis*, *S. zoogloeoides*, *R. metallidurans* y *Curtobacterium* sp. Sin embargo, el crecimiento se siguió observando por 72 h más. A las 48 h, *C. flaccumfaciens* mostró crecimiento en este medio y después de este tiempo ningún otro aislado logró crecer en él.

Cuadro 2. Desarrollo colonial de ocho bacterias endófitas de papa, en caldo de papa con seis concentraciones de dextrosa.

Aislados	Concentraciones de Dextrosa (%)					
	1	5	10	15	20	25
<i>L. miyagiensis</i>	24 (0.1461)	120 (0.2910)	-	-	-	-
<i>S. zoogloeoides</i>	24 (0.0636)	120 (0.0442)	-	-	-	-
<i>S. zoogloeoides</i>	24 (0.0434)	-	-	-	-	-
<i>R. metallidurans</i>	24 (0.7679)	24 (0.5145)	48 (0.2024)	96 (0.1283)	-	-
<i>Bosea</i> sp.	24 (0.0142)	96 (0.0552)	-	-	-	-
<i>V. paradoxus</i>	24 (0.0171)	96 (0.0782)	-	-	-	-
<i>C. flaccumfaciens</i>	24 (0.5677)	24 (0.4664)	24 (0.2126)	48 (0.2750)	48 (0.0800)	96 (0.0663)
<i>Curtobacterium</i> sp.	24 (0.4630)	24 (0.3394)	24 (0.1678)	48 (0.2372)	48 (0.0773)	96 (0.0639)

Producción de sideróforos. Transcurridos cuatro días de incubación de los aislados en el medio agar-CAS, se observó que las placas sembradas con *L. miyagiensis* y *R. metallidurans* mostraron halos tenues color naranja alrededor del crecimiento bacteriano; además, la misma masa bacteriana creció adquiriendo esa tonalidad naranja. Sin embargo, la producción de sideróforos fue baja. Por otra parte, los demás aislados no lograron crecer en dicho medio.

Efecto de estimulación de crecimiento. Los resultados de las variables evaluadas no mostraron diferencia significativa, excepto la longitud total de raíz. Los datos analizados presentaron una dispersión de hasta un 44.39 %; *L. miyagiensis* estimuló el desarrollo de raíz en comparación con el control positivo *B. subtilis* (Kodiak), un aislado de *S. zoogloeoides*, *V. paradoxus*, *C. flaccumfaciens* y *Curtobacterium sp.*, los cuales también mostraron diferencia con respecto a *Bosea sp.*, *R. metallidurans* y el control negativo.

Prueba de patogenicidad in vitro. Esta prueba mostró que ninguna planta manifestó síntomas de enfermedad aparente, las áreas inoculadas por punción tampoco mostraron clorosis o algún otro síntoma de daño. No se encontró diferencia en peso seco de la plántula, longitud del tallo y de raíz, en su respuesta al estímulo de los aislados bacterianos. En el Cuadro 3, se presentan los grados de vigor de las plantas de papa después de 21 días de inocularles las cepas bacterianas.

Discusión

Se trabajó con ocho aislados bacterianos debido a que en el proceso de aislamiento y purificación, muchos de ellos se tornaron incultivables. Por ello, se consideró altamente probable el haber conseguido el aislamiento de fitoplasmas en las primeras etapas de aislamiento de

organismos. Sin embargo, no se pudo corroborar debido a la rápida pérdida de capacidad de crecimiento en los medios de cultivos preparados. El ADNr de los ocho aislados fue sometido a alineamiento de secuencias en una base de datos (BLAST). Los datos generados por la base de datos permitieron dar a conocer tentativamente a los organismos, sin embargo, es necesario realizar más pruebas para conocerlos de manera certera. Estos organismos se han reportado en diferentes hábitats; en Japón, *L. miyagiensis* se aisló de hábitats de rizósfera (Islam *et al.*, 2007); *S. zoogloeoides* se encontró en suelos cultivados con arroz (Xie y Yokota, 2006); *R. metallidurans* es tolerante a altas concentraciones de metales pesados (Brenner *et al.*, 2005; Avoscan *et al.*, 2007; Scherer y Nies, 2008), es endófito de plantas resistentes a altas concentraciones de metales pesados (Cubaka-Kabagale *et al.*, 2008), está presente en rizósfera de cebada (Schmalenberger y Kertesz, 2007) y en aguas subterráneas (Alfreider *et al.*, 2009). *Bosea sp.* se identificó como endófito asociada a nódulos en raíces de leguminosas (Rincón *et al.*, 2008; Zakhia *et al.*, 2006), se encontró también en campos de cultivo de papa (Dandie *et al.*, 2007). *V. paradoxus* se aisló de suelos de invernaderos (Kim *et al.*, 2006), así como de superficie estéril de raíz del pasto *Lasiurus indicus*, en la India (Chowdhury *et al.*, 2007) y rizósfera de cebada (Schmalenberger y Kertesz, 2007). *C. flaccumfaciens* es la única especie del género al que se le atribuyen propiedades patogénicas, se encontró en varias plantas sin síntomas de enfermedades, p. ej.: filósfera de malezas, pastos, caña de azúcar, cacahuete y trigo (Dworkin *et al.*, 2006). Sin embargo, en este trabajo no provocó ninguna patogenicidad en las plantas tratadas con la bacteria, lo cual concuerda con otros trabajos (Reiter *et al.*, 2002; Sessitsch *et al.*, 2004) donde de acuerdo a las secuencias del gen 16s ARNr de algunos aislados, estos

Cuadro 3. Grados de vigor observados en plántulas de papa inoculadas con ocho bacterias endófitas, en condiciones *in vitro*.

Bacterias	Vigor alto	Vigor medio	Medio	Etiolación	Etiolación Alta
<i>L. miyagiensis</i>	*			**	*
<i>S. zoogloeoides</i>	*	**			*
<i>S. zoogloeoides</i>	*	*		**	
<i>R. metallidurans</i>	**	*			*
<i>Bosea sp.</i>	**			*	*
<i>V. paradoxus</i>	**	*		*	
<i>C. flaccumfaciens</i>	**	*			*
<i>Curtobacterium sp.</i>		*	*	**	
Control		**	*	*	

Cada asterisco representa una plántula de papa observada.

mostraron alta homología a bacterias fitopatógenas; tales como *C. flaccumfaciens* y *Erwinia amylovora*, no obstante, ambas especies se encontraron como endófitas de papa. Datos disponibles sugieren que el principal hábitat natural de *Curtobacterium* sp. está constituido por diferentes plantas y fuentes relacionadas tales como suelo y otros ambientes. Se ha encontrado *Curtobacterium* en hojas y semillas de plantas de las familias Asteraceae, Cyperaceae, Poaceae y Lamiaceae. Pero, los métodos de aislamiento no involucran desinfección de superficie, por lo que resulta desconocido si las bacterias saprófitas son epifitas o endófitas viviendo en tejidos de plantas sin provocar daño o beneficio por su residencia (Dworkin *et al.*, 2006). Existen reportes de bacterias endófitas en tallos y tubérculos de papa saludables, donde se han encontrado y cuantificado a los siguientes géneros: *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Agrobacterium* y *Xanthomonas* (De Boer y Copeman, 1974), aunque en el presente trabajo se han encontrado otros géneros, los cuales a pesar de no haber provocado ningún síntoma de enfermedad, pudieran estar vinculados a la presencia de otros organismos en la planta que pueden ser los agentes causales directos de la sintomatología de punta morada y que, cuando éstos atacan a la planta, pudieran desencadenar un aumento en la densidad de población de las bacterias encontradas en este trabajo. Existen reportes donde se asocian bacterias endófitas en papa con hongos o algas fitopatógenas (Sturdy y Cole, 1974). Sin embargo, todos los aislados, mostraron actividad antagónica ante algunos agentes patógenos, esto es interesante debido a que muchos de los hongos confrontados están presentes en los cultivos de papa con sintomatología de punta morada, además es evidente que las plantas aún cuando se encuentran en etapas muy desarrolladas de enfermedad, rara vez perecen, aquí es donde entra en juego el papel de estas bacterias; por tanto, debido a que muestran cierto nivel de acción contra estos patógenos, reducen su nivel de daño.

Por su parte, *L. miyagiensis* mostró mayor producción de raíz que el resto de los aislados, dicho organismo creció en medio con ACC con fuente de nitrógeno (precursor del etileno) y produjo sideróforos, sin embargo *S. zoogloeoides*, *Curtobacterium* sp. y *R. metallidurans* no favorecieron el crecimiento de plantas de sorgo tanto como *L. miyagiensis*, a pesar de que todos ellos crecieron en el medio mínimo con ACC y el último produjo sideróforos. Además, presentaron el mismo comportamiento que otros aislados que no manifestaron las mismas cualidades de los anteriores; lo cual indica que en el ecosistema existen factores que a veces impiden que la producción de etileno y sideróforos generen una respuesta de aumento en el crecimiento de la planta,

ocasionando los mismos resultados que las bacterias que no los producen. El efecto de la concentración de dextrosa es marcado en el crecimiento de *S. zoogloeoides* y *L. miyagiensis*, no siendo así para los otros dos organismos; este puede ser un factor que interfiera con la efectividad de la promoción de crecimiento por parte de los aislados, ya que es un compuesto abundante en los haces vasculares de la papa. No obstante, sería de utilidad hacer inoculaciones en plantas utilizando mezclas de las bacterias y observar su comportamiento, ya que la concentración de dextrosa en los haces vasculares no generan un impedimento para su existencia en ese hábitat. Otro factor a considerar es que las bacterias fueron inoculadas en plantas de sorgo y no en papa, esta diferencia de familia puede generar una diferencia marcada en el efecto de las bacterias de estudio. Pero, se utilizaron plantas de papa *in vitro* para observar el efecto de patogenicidad por parte de las mismas bacterias y se pudo notar que, aunado a la no patogenicidad de las bacterias, tampoco se mostraron efectos contundentes en el crecimiento de las plántulas de papa. Cabe resaltar que se aisló *Staphylococcus haemolyticus* en las plantas de papa, bacteria que constituye un riesgo para la salud humana. Resultados análogos son reportados en otras investigaciones (Berg *et al.*, 2005a; Berg *et al.*, 2005b) donde se han detectado razas que son conocidas como patógenos facultativos de humanos, tales como *Bacillus cereus*, *Staphylococcus epidermis* y *S. pasteurii*. Tales investigaciones hacen notar que no existe una distinción definida entre bacterias endófitas y patógenas en plantas.

Conclusiones

Las bacterias endófitas estudiadas, tales como *L. miyagiensis*, *S. zoogloeoides*, *R. metallidurans* entre otros, tienen la función de proteger su hábitat, es decir, cuidar de la planta con la que se asocian. Se observa que cada aislado tiene propiedades particulares en cuanto a capacidad antagónica contra agentes patogénicos, cualidades de promoción directa de crecimiento (producción de sideróforos) e inocuidad (todas las bacterias); deduciéndose que estos organismos actúan en equipo para ayudar a la planta a realizar sus funciones de forma más saludable, debido a que cada uno aporta el producto de su trabajo. Cuando la planta es sometida a la enfermedad de punta morada de la papa, los productos y capacidades de las bacterias endófitas promueven que los síntomas de la enfermedad no sean tan devastadores, permitiéndole a la planta completar su ciclo de vida.

Agradecimientos

Se agradece a CONACYT el soporte económico otorgado, y a la M.C. Rosalinda Serrato Flores por su apoyo

técnico y participación en la reproducción de plantas de papa *in vitro*, y por la asesoría brindada en la aplicación de los métodos utilizados en este trabajo.

Literatura Citada

- Alexander, D. B., Zuberer, D. A. 1991. Use of chrome azurol S reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. *Biol. Fert. Soils* 12: 39-45.
- Alfreider, A., Vogt, C., Geider-Kaiser, M., Psenner, R. 2009. Distribution and diversity of autotrophic bacteria in groundwater systems based on the analysis of RuBisCO genotypes. *System. Appl. Microbiol.* 32:140-150.
- Avoscan, L., Untereiner, G., Degrouard, J., Carriere, M., Gouget, B. 2007. Uranium and selenium resistance in *Cupriavidus metallidurans* CH34. *Toxicology Letters*. Abstracts of the 44th Congress of the European Societies of Toxicology 172(1): S157.
- Berg, G., Eberl, L. and Hartmann, A. 2005a. The rizosphere as a reservoir for opportunistic human pathogenic bacteria. *Environmental Microbiology* 7(11):1673-1685.
- Berg, G., Krechel, A., Ditz, M., Sikora, R. A., Ulrich, A., Hallmann, J. 2005b. Endophytic and ectophytic potato-associated bacterial communities differ in structure and antagonistic function against plant pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Ecology* 51: 215-229.
- Birnboim, H. C. and Doly, J. 1979. A rapid alkaline extraction procedure for screening recombinant plasmid DNA. *Nucleic Acids Res.* 7(6): 1513-1523.
- Brenner, D. J., Krieg, N. R., Staley, J. 2005. *Bergey's manual of systematic bacteriology. The proteobacteria. Part C. The Alpha-, Beta-, Delta-, and Epsilonproteobacteria.* Vol. 2. Second Ed. Springer-Verlag, NY, USA. 1388p.
- Buckenhüskes, H. J. 2005. Nutritionally relevant aspects of potatoes and potato constituents. pp. 17-26. *In: Haverkort, A. J., Struik PC (Eds.) Potato in progress. Science meets practice.* Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Chowdhury, S. P., Schmid, M., Hartmann, A., Tripathi, K. 2007. Community associated with roots of *Lasiurus sinducus*, a perennial grass of Thar Desert, India. *Microbial Ecology* 54: 82-90.
- Cubaka-Kabagale, A., Vander-Wauven, C., van Vliet, F., Droogmans, L., Lumbu-Simbi, J. B., Mergeay, M., Verbruggen, N. 2008. Bacteria-plant associations in the Katangese copper belt. Mini-symposium. *Cupriavidus metallidurans*: a unique β -proteobacterium, appearing where you least expect it. Mol, Belgium, April 21-23, 2008 (Abstract).
- Dandie, C. E., Burton, D. L., Zabarth, B. J., Trevors, J. T., Goyer, C. 2007. Analysis of denitrification genes and comparison of nosZ, cnorB and 16S rDNA from culturable denitrifying bacteria in potato cropping systems. *System. Appl. Microbiol.* 30(2):128-138.
- De Boer, S. H., Copeman, R. J. 1974. Endophytic bacterial flora in *Solanum tuberosum* and its significance in bacterial ring rot diagnosis. *Canadian J. Plant Sci.* 54:115-122.
- Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K. H., Stackebrand, E. 2006. *The Prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria Archaea. Bacteria: Firmicutes, Actinomycetes.* Volume 3. Third Edition. Springer, NY, USA. 1146p.
- Dworkin, M., Foster, J. W. 1958. Experiments with some microorganisms which utilize ethane and hydrogen. *J. Bacteriol.* 75:592-603.
- Estévez, A., González, M., Hernández, M., Castillo, J., Moré, O. y Cordero, M. 2001. Estrategia para el desarrollo del mejoramiento de la papa. *Granma Ciencia* 5: 21-30.
- Harwood, C. R., Cutting S. M. 1990. *Molecular biological methods for Bacillus*, John Wiley & Sons, Chichester, UK. 450p.
- Hooker, W. J. 1981. *Compendium of potato diseases.* The American Phytopathological Society, St. Paul, Minn. USA. 125p.
- Kim, B.Y., Weon, H.Y., Yoo, S.H., Lee, S.Y., Kwon, S.W., Go, S.J., Stackebrandt, E. 2006. *Vaiovorax soli* sp. Nov., isolated from greenhouse soil. *Int. J. System. Evol. Microbiol.* 56: 2899-2901.
- Lee, I.M., Bottner, K.D., Secor, G., Rivera Varas, V. 2006. *Candidatus Phytoplasma americanum*, a phytoplasma associated with a potato purple top wilt disease complex. *Int. J. System. Evol. Microbiol.* 56:1593-1597.
- Martínez-Soriano, J. P., Leyva-López, N. E., Zavala-Soto, M. E. 1999. Detección molecular del agente causal del síndrome bola de hilo de la papa en semillas infectadas y asintomáticas. *Biotechnol. Apl.* 16:93-96.
- Munyaneza, J. E., Crosslin, J. M., Lee, I. M. 2007. Phytoplasma diseases and insect vectors in potatoes of the Pacific northwest of the United States. *Bull. Insectol.* 60(2): 181-182.
- Penrose, D. M., Glick B. R. 2003. Methods for isolation and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiol. Plant.* 118:10-15.
- Reiter, B., Pfeifer, U., Schwab, H., Sessitsch, A. 2002. Response of endophytic bacterial communities in po-

- tato plants to infection with *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*. Appl. Environ. Microbiol. 68(5): 2261-2268.
- Rincón, A., Arenal, F., González, I., Manrique, E., Lucas, M. M., Pueyo, J. J. 2008. Diversity of rhizobial bacteria isolated from nodules of the Gypsophyte *Ononis tridentata* L. growing in Spanish soils. Microbial Ecology 56(2): 223-233.
- Scherer, J., Nies, D. H. 2008. Relevance of the four Pb (II)/Zn (II)/Cd (II) P-type ATPases for cadmium, cobalt or zinc detoxification in *Cupriavidus metallidurans* CH34. Mini-symposium. *Cupriavidus metallidurans*: a unique γ -proteobacterium, appearing where you least expect it. Mol, Belgium, April 21-23, 2008.
- Schmalenberger, A., Kertesz, M. A. 2007. Desulfurization of aromatic sulfonates by rhizosphere bacteria: high diversity of the asfA gene. Environmental Microbiology 9(2): 535-545.
- Sessitsch, A., Reiter B., Berg, G. 2004. Endophytic bacterial communities of field-grown potato plants and their plant-growth promoting and antagonistic abilities. Canadian J. Microbiol. 50: 239-249.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola los Estado Unidos Mexicanos. Estadísticas por estado. 457 p. www.siap.gob.mx. (7 de septiembre de 2010).
- Sturdy, M. L., Cole, L. J. 1974. Studies on endogenous bacteria in potato tubers infected by *Phytophthora erythroseptica* Pethybr. Ann. Bot. 38: 121-127.
- Weisburg, W. G., Barns, S. M., Pelletier, D. A., Lane, D. J. 1991. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. J. Bacteriol. 173(2): 697-703.
- Van Gijssel, J. 2005. The potential of potatoes for attractive convenience food: focus on product quality and nutritional value. pp. 27-32. In: Haverkort, A. J., Struik PC (Eds.) Potato in progress. Science meets practice. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Xie, C. H., Yokota, A. 2006. *Zoogloea orizae* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium isolated from rice paddy soil, and reclassification of the strain ATCC 19623 as *Crabtreeella saccharophila* gen. nov. Int. J. System. Evol. Microbiol. 56(3): 619-624.
- Zakhia, F., Jeder, H., Willems, A., Gillis, M., Dreyfus, B., de Lajudie, P., 2006. Diverse bacteria associated with root nodules of spontaneous legumes in Tunisia and first report for nifH-like gene within the genera Microbacterium and Starkeya. Microbial Ecology 51(3): 375-93.
-

Efecto de la fecha de Parto sobre Características Productivas y Reproductivas de Vacas Charolais

Daniel Pérez Torres^{1*}, Roberto García Elizondo¹, Ramiro López Trujillo², Jesús Manuel Fuentes Rodríguez¹ y Fernando Ruiz Zarate¹

¹Departamento de Producción Animal, ²Departamento de Nutrición y Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro, 1923. Col. Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. E-mail: petodan_83@hotmail.com (* Autor responsable)

Abstract

Effect of Calving date on Reproductive and Productive Characteristics of Charolais Cows. In order to assess, along two consecutive years, the effect of the calving date on postpartum reproductive and productive characteristics of meat-producing Charolais cattle with a short-term breeding time and annual free range grazing. A group of 1,665 records belonging to 583 Charolais cows, for two consecutive years, were analyzed. The records were grouped according to birth date into four calving groups (G1=1-21, G2=22-42, G3 = 43-63, and G4 \geq 63) of 21 consecutive days. A completely randomized design, with different numbers of replications and covariates was applied. There was not a significant effect ($P > 0.05$) from calving date on the weight at birth of calves. The weaning weight of calves born in G1 in two consecutive years, was higher than those born in groups G2, G3 and G4. Calves born in G4 had a higher preweaning daily gain in both years ($P < 0.05$) than those born in the groups G1, G2 and G3. G1 cows weaned in two consecutive years 26, 46 and 69 kg/calf over the cows of groups G2, G3 and G4. The mating and pregnancy days were inverse to those of the calving group, while the open days showed a direct dependence of these two variables, G1 cows became pregnant 11, 25 and 41 days before the cows in groups 2, 3 and 4. The days to next calving and Julian day following calving increased from G1 to G4 and both were inverse to the interval between calvings. It is concluded that matings of 90 days in summer, cows calving in early spring have a better productive and reproductive postpartum behavior.

Key words. Beef cattle, calf weaning weight, calving interval, days to mating and days to pregnancy, calving date.

Resumen

Con el objetivo de evaluar, durante dos años consecutivos, el efecto de la fecha de parto sobre características productivas y reproductivas postparto de vacas Charolais productoras de carne con apareamiento de corta duración y pastoreo anual en agostadero. Se analizaron 1665 registros de 583 vacas Charolais en dos años consecutivos. Los registros se agruparon de acuerdo a fecha de parto en cuatro grupos de parición (G1=1-21, G2=22-42, G3=43-63 y G4 \geq 63) de 21 días consecutivos. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diferente número de repeticiones y covariables. No se encontró efecto ($P > 0.05$) de la fecha de parto sobre el peso de los becerros al nacer. El peso al destete, de los becerros nacidos en el G1 de parición, en dos años consecutivos, fue superior al de los nacidos en los grupos G2, G3 y G4. Los becerros que nacieron en el G4 tuvieron mayor ganancia diaria de peso predestete en ambos años ($P < 0.05$), que los nacidos en los grupos G1, G2 y G3. Las vacas del G1 destetaron en dos años consecutivos 26, 46 y 69 kg más de becerro que las vacas de los grupos G2, G3 y G4. Los días al empadre y días a la preñez fueron inversos al grupo de parición, en tanto que los días abiertos presentaron una dependencia directa de estas dos variables; las vacas del G1 se preñaron 11, 25 y 41 días antes que las vacas de los grupos 2, 3 y 4. Los días al siguiente parto y el día juliano al parto siguiente aumentaron del G1 al G4 y ambos fueron inversos al intervalo entre partos. Se concluye que con apareamientos de 90 días en verano, las vacas que paren al inicio de primavera tienen mejor comportamiento productivo y reproductivo postparto.

Palabras clave: Bovino de carne, peso de becerros al destete, intervalo entre partos, días al empadre y días a la preñez, fecha de parto.

Introducción

La baja productividad de los hatos de bovino de carne en las zonas áridas y semiáridas del norte de México es atribuida a una alimentación inadecuada en etapas clave de su ciclo anual de producción (Carpenter, 1988). Por esta razón, algunos productores hacen coincidir la fecha de empadre, y por lo tanto, las épocas de parición y destete con la época de mayor disponibilidad de forraje.

Sin embargo, existen contradicciones en los resultados que presentan algunos autores ya que, por una parte se ha reportado que el peso al nacer de los becerros no es afectado por la fecha de parto en épocas de apareamiento y pariciones cortas durante el año (Deutscher *et al.*, 1991; Pate y Kunkle, 2003; Marshall *et al.*, 1990); y por otra, autores como Grings *et al.* (2007) aseveran que la fecha de parto tiene influencia sobre el peso al nacer de los becerros con épocas de pariciones en diferentes estaciones del año. Además, el peso al destete de los becerros que nacen al inicio de la época de pariciones, cuando se realiza en una fecha única, es mayor que el de los que nacen al final; esto debido a su mayor edad al destete (MacGregor y Casey, 2000; Grings *et al.*, 2005), ya que su tasa de crecimiento predestete es menor a la de los que nacen al final (Peterson *et al.*, 1987; García, 2006; Grings *et al.*, 2007).

Existen medidas reproductivas postparto, tales como días al empadre, días a la preñez y días abiertos, que dependen en gran medida de las prácticas de manejo del hato y ocurren antes que el intervalo entre partos. Guerra *et al.* (2009) mencionan que la fecha de parto tiene influencia sobre los días del parto al empadre, parto a la preñez y días abiertos (parto-concepción), cuando el manejo reproductivo de las vacas incluye utilizar una época de apareamientos controlada y de corta duración. Por su parte Goyache *et al.* (2005) y Yagüe *et al.* (2009) mencionan que los días del inicio del empadre al parto, es una medida reproductiva mejor que el intervalo entre partos, cuando el empadre es de corta duración. Bourdon y Brinks (1983), Gutiérrez *et al.* (2002) y Forni *et al.* (2003) mencionan que, con época de apareamientos de corta duración, el intervalo entre partos no es una medida reproductiva adecuada, debido a que las vacas que tienen su parto al inicio de la época de pariciones tienen un mayor intervalo entre partos que las vacas que paren al final; y esto es atribuido a los días que transcurren del parto al inicio del empadre que es mayor para las vacas que paren al inicio y más corto para las que paren al final. Algunas de estas variables reproductivas pueden ser importantes porque mejoran la productividad del hato y otras pueden afectar su comportamiento reproductivo. Sin embargo, se utilizan con propósitos de selección y comportamiento reproductivo (BIF, 2002).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar, durante dos años consecutivos, el efecto de la fecha de parto sobre características productivas y reproductivas postparto de vacas Charolais productoras de carne, con apareamiento de corta duración y pastoreo anual en agostadero.

Materiales y Métodos

Se utilizaron datos de producción y reproducción de vacas Charolais del rancho Los Ángeles de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). El rancho se localiza en el municipio de Saltillo, Coah., México, entre 25°04' N y 100° 58' O. La altitud promedio es de 2,250 m, temperatura media anual de 13.4 °C y precipitación pluvial promedio anual de 335 mm, con mayor ocurrencia (70 %) de junio a octubre (CONAGUA, 2006). La región es considerada como semiárida, con un pastizal característico del Desierto Chihuahuense.

Las vacas pastaron en vegetación nativa durante todo el año en un sistema de pastoreo rotacional diferido en 20 potreros y carga animal de 15 a 20 UA ha⁻¹ año⁻¹. La época de apareamientos fue de 90 días en verano durante junio, julio y agosto, utilizando un toro Charolais por cada 20 a 30 vacas. Las pariciones ocurrieron en primavera de marzo a mayo y los becerros se destetaron en noviembre durante el otoño, con peso y edad promedio de 226 kg y 7 meses, respectivamente.

Durante todo el año las vacas recibieron un suplemento mineral a base de cloruro de sodio, fósforo y minerales traza; además en invierno se les suministró vitaminas A, D y E.

Se analizaron 1,665 registros productivos y reproductivos de 583 vacas Charolais, que parieron y destetaron becerros en pares de años consecutivos de 1977 al 2000, p. ej.: 1978 y 1979; 1979 y 1980; 1980 y 1981, y así sucesivamente. La edad de las vacas osciló de 3 a 12 años con un promedio de 5.0 ± 1.9 años. El registro anual de los becerros incluyó: identificación, día juliano de nacimiento y destete (día juliano: 1 = 1 de enero y 365 = 31 de diciembre), sexo y pesos al nacer en las primeras 24 h de vida y destete. Con la información anterior, se calcularon: la edad al destete, la ganancia diaria de peso predestete y la producción total, expresada en kg de becerros destetados por vaca en dos años consecutivos.

Las vacas estuvieron identificadas y durante dos años consecutivos se registraron las siguientes variables: Edad al parto, Número de parto y Día juliano al parto y al destete. Con la información anterior, se calcularon: los días al empadre que es el número de días del parto al inicio del empadre; días a la preñez, que es el número de días del inicio del empadre a la preñez; días abiertos, es el número

de días del parto a la preñez; días al parto siguiente, número de días del inicio del empadre al parto siguiente e intervalo entre partos, número de días entre dos partos en años consecutivos.

Para el análisis, las vacas paridas dentro de la época de partos en primavera, fueron agrupadas de acuerdo a la fecha de parto, iniciando el día juliano del año en que parió la primera vaca en cuatro grupos de parición de 21 días: G1, formado por vacas paridas del día 1 al 21 de la época de partos (n = 498); G2, vacas paridas del día 22 al 42 (n = 551); G3 vacas que parieron del día 43 al 63 (n = 404); y G4, vacas que parieron después del día 63 (n = 212). Las vacas de cada grupo se mantuvieron en los dos años de evaluación. El modelo incluyó, además del efecto de la fecha de parto, las covariables: año, edad de la vaca, sexo del becerro y peso al nacer para las características productivas y año, edad de la vaca y el número de parto para las características reproductivas.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diferente número de repeticiones (SAS, 1989).

Resultados y Discusión

Características Productivas

Peso al Nacer. No se encontró efecto de la fecha de parto sobre el peso al nacer de los becerros en años consecutivos ($P > 0.05$), pero se observaron efectos significativos de las covariables edad de la vaca, sexo del becerro y año de parto para el año actual ($P < 0.05$), y solo del sexo del becerro para el año siguiente. Esto coincide con lo reportado en la literatura (Deutscher *et al.*, 1991; Pate y Kunkle, 2003), pudiendo atribuirse a que la fecha de parto fue de 90 días en primavera.

Peso al Destete. Se encontró un efecto significativo ($P \leq 0.05$) de la fecha del parto sobre el peso al destete de los becerros. Las covariables edad de la vaca, sexo del becerro, año de parto y peso al nacer de los becerros, usadas para reducir el error experimental, tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre el peso al destete de los becerros en el primer año y el año siguiente, a excepción de la edad de la vaca. En el Cuadro 1 se presentan los pesos al destete estimados por mínimos cuadrados y ajustados por las covariables para los diferentes grupos de parición y el peso total de becerros destetados en dos años consecutivos.

El peso al destete de los becerros del G1 fue superior a los nacidos en los grupos de parición G2, G3 y G4 en 17, 27 y 41 kg en el primer año y 9, 19 y 28 kg en el año siguiente ($P \leq 0.05$). En ambos años el peso al destete de los becerros del G1 fue mayor al de G2, G3 y G4, aunque la magnitud de los cambios fue menor en el año siguiente ($P \leq 0.05$). Lo anterior se atribuye a diferencias en la edad

de los becerros en el destete, la cual fue mayor en el G1, disminuyendo en los grupos 2, 3 y 4, respectivamente.

Cuadro 1. Peso al destete de becerros Charolais en dos años consecutivos, por efecto de la fecha de parto. Valores promedio estimados por mínimos cuadrados y error estándar.

Año del Parto	Grupo de Parición				EE ¹
	G1 (n=498)	G2 (n=551)	G3 (n=404)	G4 (n=212)	
Primer Año	243 ^a	226 ^b	216 ^c	202 ^d	1
Año Siguiente	229 ^a	220 ^b	210 ^c	201 ^d	1
Total	472 ^a	446 ^b	426 ^c	403 ^d	2

G: Partos por períodos consecutivos de 21 días.

¹Error estándar promedio. Promedios con literales diferentes a, b, c y d en una misma hilera son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

Las vacas del G1 que parieron al inicio de la primavera en el primer año de producción, preservaron el comportamiento de pariciones tempranas y mayor peso al destete en el siguiente año; por lo que fueron más productivas que las vacas de los demás grupos de parición. Sin embargo, el peso al destete de los becerros en el primer año de producción fue mayor que el del año siguiente. Lo anterior, coincide con lo reportado por la BIF (2002), Grings *et al.* (2005) y Grings *et al.* (2007) quienes mencionan que cuando los becerros se destetan simultáneamente, generalmente los que nacen al inicio de la época de parto son más pesados al destete que los nacidos al final, debido a su mayor edad y mantienen esta tendencia en años posteriores.

García (2006), al probar el efecto de la fecha del parto sobre la duración de la lactancia en vacas Charolais con apareamiento controlado y pariciones de 90 días en primavera, encontró que los pesos de los becerros al destete, en la lactancia del primero y siguiente año de producción, fueron similares, es decir que las pariciones al inicio producen mayor peso al destete de los becerros. Sin embargo, la magnitud de las diferencias en la lactancia siguiente fue menor. Por lo tanto, se consideró que el peso al destete del primer año es un mejor indicador del comportamiento productivo, ya que permite aumentar la productividad y rentabilidad de los hatos, generando mayor ingresos al productor (MacGregor y Casey, 2000).

Producción Total de Becerro Destetado por Vaca

Las vacas del G1 que parieron al inicio de la primavera, tuvieron una mayor producción total de becerro destetado por vaca de 26, 46 y 69 kg en dos años consecutivos, en contraste con las vacas paridas en los grupos G2, G3 y G4, respectivamente; por lo tanto, los becerros que nacieron al inicio en ambos años, tuvieron mayor

comportamiento productivo que los nacidos posteriormente.

Según Walker y Perry (2007) y Perry *et al.* (2009) las vacas que paren al inicio de la época de parición son más productivas, ya que producen becerros con mayor peso al destete cuando este se realiza en una fecha predefinida. Por lo tanto, tienden a ser biológica y económicamente más eficientes en su ciclo de producción anual, debido a que el peso de becerros al destete y el peso total de becerros destetados por vaca son considerados para evaluar la productividad, porque mejoran la rentabilidad de las unidades de producción en hatos de cría (Marshall *et al.*, 1990; Cundiff *et al.*, 1992). Sin embargo, García *et al.* (1992) indican que la rentabilidad de las unidades de producción de bovinos de carne, depende de su óptimo manejo productivo y reproductivo y está determinada principalmente por el porcentaje de becerros destetados, su peso vivo al destete, el costo de producción y el precio de venta de los becerros.

Por lo que conviene tener vacas que produzcan becerros con mayor peso al destete, para que permitan aumentar la productividad de los hatos y mantener la rentabilidad de las unidades de producción.

Ganancia Diaria de Peso Predestete

Se encontró efecto significativo ($P \leq 0.05$) de la fecha de parto sobre la ganancia diaria de peso predestete en años consecutivos. Las covariables edad de la vaca, sexo del becerro, año de parto y peso al nacer de los becerros tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre la ganancia diaria de peso predestete del primer año, y solo el año de parto para el año siguiente. En el Cuadro 2 se presentan las ganancias diarias de peso predestete ajustadas por las covariables para los diferentes grupos de parición.

Cuadro 2. Ganancia diaria de peso predestete de becerros Charolais en dos años consecutivos, por efecto de la fecha de parto. Valores promedio estimados por mínimos cuadrados y error estándar.

Año del Parto	Grupo de Parición				EE ¹
	G1 (n=498)	G2 (n=551)	G3 (n=404)	G4 (n=212)	
Año Actual	848 ^a	855 ^a	879 ^b	905 ^c	6
Año Siguiente	862 ^a	866 ^a	879 ^b	897 ^c	5

G: Partos por períodos consecutivos de 21 días.

¹Error estándar promedio. Promedios con literales diferentes a, b y c en una misma hilera son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

En un estudio realizado por García (2006) en vacas Charolais con apareamiento controlado, en duración y

época y pariciones de 90 días en primavera, donde agrupó la fecha de parto en fase inicial, intermedia y final, encontró que los becerros nacidos al inicio del periodo de parición tuvieron una menor ganancia diaria de peso.

Otros autores (Houghton *et al.*, 1990; Grings *et al.*, 2007) encontraron resultados similares al evaluar el efecto de la fecha del parto sobre la ganancia diaria de peso de los becerros en hatos de cría con periodo de partos en una época establecida durante el año, es decir, becerros que nacieron al final de la época de pariciones, alcanzaron mayor ganancia diaria de peso predestete. Los resultados del presente estudio coinciden con lo reportado por Peterson *et al.* (1987) y la BIF (2002), donde becerros que se destetan a menor edad tienen mayores ganancias de peso predestete. Esto se atribuye a que presentan mayores tasas de crecimiento predestete porque están en etapa de crecimiento muscular en comparación con animales de mayor edad.

Características Reproductivas Postparto

Algunas de las variables reproductivas son importantes porque mejoran la productividad del hato aumentando la rentabilidad de las unidades de producción en hatos de cría, sin embargo, otras pueden afectar el comportamiento reproductivo en condiciones de manejo similares a las del presente estudio. Sin embargo, se utilizan con propósitos de selección y comportamiento reproductivo del hato.

Cuadro 3. Características reproductivas postparto de vacas Charolais en dos años consecutivos, por efecto de la fecha de parto. Valores promedio estimados por mínimos cuadrados y error estándar.

Características	Grupo de Parición				EE ¹
	G1 (n=498)	G2 (n=551)	G3 (n=404)	G4 (n=212)	
Días al Empadre	73 ^a	51 ^b	33 ^c	14 ^d	1
Días a la Preñez	31 ^a	42 ^b	56 ^c	72 ^d	1
Días Abiertos	104 ^a	93 ^b	89 ^c	86 ^d	1
Días al Parto Siguiente	314 ^a	325 ^b	339 ^c	354 ^d	1
Intervalo Entre Partos	386 ^a	376 ^b	372 ^c	368 ^d	1
Día Juliano al Parto Siguiente	106 ^a	118 ^b	131 ^c	145 ^d	1

G: Partos por períodos consecutivos de 21 días.

¹Error estándar promedio. Promedios con literales diferentes a, b, c y d en una misma hilera son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

Al evaluar el efecto de la fecha de parto se encontraron efectos significativos ($P \leq 0.05$) sobre todas las características reproductivas evaluadas: días al empadre, días a la preñez, días abiertos, días al parto siguiente,

intervalo entre partos y fecha de parto del año siguiente. Las covariables año de parto, edad de la vaca y peso al nacer fueron significativos ($P \leq 0.05$) sobre la fecha de parto del año siguiente, días al empadre y días abiertos; el año de parto sobre los días a la preñez y días al parto siguiente; la edad de la vaca y peso al nacer sobre el intervalo entre partos. En el Cuadro 3, se presentan las características reproductivas ajustadas por las covariables para los diferentes grupos de parición.

Días al Empadre

Las vacas del G1 que parieron al inicio de la época de parición, tuvieron 22, 40 y 59 días más del parto al inicio del empadre que las vacas de los grupos G2, G3 y G4, respectivamente. Se encontró una relación inversa de los días al empadre con los días a la preñez, días al parto siguiente y fecha de parto del año siguiente. Así mismo, una relación directa con los días abiertos e intervalo entre partos según la fecha de parto.

Los días al empadre repercuten positivamente en la fecha de parto del año siguiente, ya que las vacas que paren al inicio del periodo de pariciones tienen mayor número de días del parto al empadre, y por tanto, mayor probabilidad de llegar ciclando al empadre, y por lo general se vuelven a preñar al inicio de la época de apareamientos en comparación con las que paren al final (Werth *et al.*, 1996).

Por otra parte, los días al empadre afectan negativamente cuando se tienen épocas de apareamiento preestablecidas después del parto, debido a que las vacas que tienen más días al empadre, tienen más días abiertos e intervalo entre partos (BIF, 2002).

A medida que aumentan los días al empadre, los días abiertos se aumentan significativamente. Según Osterman y Bertilsson (2003) los días abiertos son más en vacas que paren al inicio de la época de partos, coincidiendo con el presente estudio; sin embargo, esto permite que la mayoría de las vacas se preñen al inicio de la época de apareamiento al año siguiente y, en consecuencia, paran al inicio de la época de pariciones.

Días a la Preñez

Los días a la preñez fueron menos en vacas que parieron al inicio de la época de partos (G1) que las que parieron posteriormente (G2, G3 y G4). Se observó una relación inversa entre los días a la preñez y los días al empadre y directa con la fecha de parto del año siguiente. Las vacas del G1 con menos días a la preñez, tuvieron una fecha de parto del año siguiente más temprana y más días al empadre e intervalo entre partos. Los días a la preñez son considerados un parámetro reproductivo importante porque permite evaluar el comportamiento reproductivo del hato al año siguiente. Las vacas del G1 que parieron al inicio

de la época de partos del primer año de producción, se preñaron nuevamente al inicio de la época de apareamientos del año siguiente.

Cuando los días a la preñez disminuyen, las vacas tienen mejor comportamiento reproductivo, ya que el intervalo entre partos disminuye de manera similar (Yagüe *et al.*, 2009), pero su duración depende, en gran medida, de las prácticas de manejo que se tenga en el hato. La ventaja consiste en que se mide antes que el intervalo entre partos, por lo que es mejor indicador reproductivo que los días abiertos en vacas con apareamiento controlado y corta duración (Guerra *et al.*, 2009)

Días Abiertos

Las vacas del G1 que parieron al inicio de la primavera, tuvieron más días abiertos que las vacas que parieron posteriormente; y aunque se preñaron al inicio de la época de apareamientos (día 31), tuvieron un intervalo mayor entre el parto y el inicio del empadre (día 73). Se encontró que, a mayor intervalo de parto al inicio del empadre, se tienen más días abiertos y el intervalo entre partos es mayor, lo que indica una relación directa entre estas características reproductivas postparto. Sin embargo, se encontró una relación inversa entre días abiertos y días a la preñez, y fecha de parto del año siguiente.

Los días abiertos constan de los días al empadre y días a la preñez, y ambos se miden antes que el intervalo entre partos, pero no se utilizan como una medida reproductiva (Yagüe *et al.*, 2009). Luna de la Peña *et al.* (2008) indicaron una alta correlación de los días abiertos con los días al empadre y el intervalo entre partos, indicando la ventaja y utilidad de los días abiertos en los programas de selección y no como medida reproductiva ni de fertilidad. En este estudio los días abiertos no fueron un parámetro reproductivo de interés; sin embargo, puede relacionarse con la duración de otras características reproductivas postparto que son medidas al siguiente año de producción en vacas con épocas de apareamiento controlado en duración y época.

Días al Parto Siguiente

Los días al parto siguiente tuvieron una relación inversa a los días al empadre, días abiertos y una relación directa con los días a la preñez y fecha de parto del año siguiente; esto indica que el menor intervalo del inicio del empadre al parto siguiente lo presentan las vacas del G1 que parieron al inicio de la primavera, las cuales se preñaron otra vez al inicio y parieron al inicio del año siguiente. Aunque las vacas tuvieron mayores días al empadre, parieron al inicio y tuvieron mayor tiempo para recuperarse para el siguiente empadre, y por consecuencia se volvieron a preñar al inicio en el siguiente ciclo productivo.

Los días al parto siguiente fueron menores para las vacas que parieron al inicio de la época de parición, siendo mejor indicador reproductivo medido en dos años consecutivos de producción, que el intervalo entre partos. Esto coincide con Gutiérrez *et al.* (2002) quienes concluyeron que los días al parto siguiente son mejor medida reproductiva que el intervalo entre partos. Otros autores indican que los días al parto siguiente son una característica reproductiva para evaluar la fertilidad y seleccionar animales (Bourdon y Brinks, 1983) y que puede servir como herramienta para evaluar el desempeño reproductivo de vacas con épocas de apareamiento y pariciones preestablecidas (Forni *et al.*, 2003). Asimismo, ha sido recomendado para evaluar el comportamiento reproductivo en bovinos productores de carne, por ser una característica indicadora de la habilidad de las vacas para concebir al inicio de la época de apareamiento, y consecuentemente parir al inicio de la fecha de parto (Johnston y Bunter, 1996; Melton, 1995).

Día Juliano al Parto Siguiente

Las vacas del G1 que parieron al inicio de la época de pariciones en el primer año, tuvieron menor fecha de parto en el año siguiente en comparación con los grupos de parición G2, G3 y G4. Se observó una relación directa de la fecha de parto en el año siguiente con los días a la preñez y días al parto siguiente, e inversa con días al empadre, días abiertos e intervalo entre partos.

La importancia de la fecha de parto del año siguiente desde el punto de vista de selección y comportamiento, es que sí la mayoría de los becerros nacen al inicio de la época de partos, el peso al destete de los becerros será mayor, y por lo tanto, se mejora la productividad y rentabilidad del ható. Esto coincide con Bourdon y Brinks (1983) y MacGregor y Casey (2000) quienes reportan que la fecha de parto del año siguiente es una mejor medida para evaluar el comportamiento reproductivo de las vacas que los días abiertos e intervalo entre partos. Aunque la fecha de parto del año siguiente sea mejor medida reproductiva cuando la época de apareamientos es de corta duración, las vacas que paren al inicio del periodo de pariciones, probablemente presentan su primer celo antes del inicio del siguiente periodo de apareamientos, pero están imposibilitadas a concebir debido a que no fueron expuestas al toro (Werth *et al.*, 1996).

Intervalo entre Partos

Se observó una relación inversa del intervalo entre partos con la fecha de parto del año siguiente, días a la preñez y días al parto siguiente y una relación directa con los días al empadre y días abiertos. Las vacas del G1 que parieron al inicio, tuvieron un intervalo entre partos de 10,

14 y 18 días más que las vacas de los grupos G2, G3 y G4 que parieron posteriormente. Las vacas que parieron al final de la época tuvieron mejor comportamiento reproductivo por tener un corto intervalo entre partos, según la información numérica presentada.

El mayor intervalo entre partos en vacas que parieron al inicio (G1), se atribuyó parcialmente a la mayor duración del intervalo del parto al inicio del empadre de 73 días en promedio; esto indica la inconveniencia de utilizar el intervalo entre partos como medida reproductiva en hatos de cría con épocas de apareamientos y partos preestablecidos.

Drennan y Berry (2006) mencionan que, cuando la fecha o día juliano al parto de las vacas es utilizada como una variable continua, por cada día de retraso en la fecha del parto, el intervalo entre partos se incrementa 0.43 días; Osoro y Wright (1992) encontraron que por cada día de retraso en la fecha del parto el intervalo entre partos se prolonga 0.75 días. Sin embargo, la BIF (2002) reporta que las vacas se deben de preñar a más tardar 83 días después del parto para que tengan un intervalo entre partos de 365 días.

En vacas con apareamiento en una fecha preestablecida de inicio, el intervalo entre partos no es un indicador reproductivo importante, porque es mayor su intervalo entre partos, pero producen becerros con mayor peso en el destete, lo que permite aumentar la productividad y por consiguiente la rentabilidad de las unidades de producción. Drennan y Berry (2006) mencionan que el intervalo entre partos de vacas que parieron al inicio, en medio y final de la época de pariciones fue de 378, 364 y 353 días, siendo similar a lo encontrado en el presente estudio. Esto coincide con MacGregor y Casey (2000), Gutiérrez *et al.* (2002) y Drennan y Berry (2006), quienes aseveran que las vacas que paren al inicio de la época de pariciones tienen intervalo entre partos más prolongado con época de apareamiento controlado en duración y época; lo que impacta positivamente sobre el comportamiento productivo. Por su parte López de Torre y Brinks (1990) indican que en las mismas condiciones de manejo, el intervalo entre partos es un indicador que impacta negativamente en la evaluación reproductiva de las vacas que paren al inicio del periodo de pariciones.

Conclusiones

La fecha de parto no afectó el peso al nacer de los becerros en ambos años, pero sí afectó el peso al destete, la ganancia diaria de peso predestete y el peso total de becerros destetados en dos años consecutivos. Las vacas que parieron al inicio de la época de parto tuvieron mejor comportamiento reproductivo postparto, debido a que se

preñaron en menos tiempo, parieron al inicio del año siguiente y tuvieron menos días del inicio del empadre al parto siguiente. Las vacas con apareamientos de 90 días en la época de lluvias, en verano, con partos al inicio de la primavera tienen mejor comportamiento postparto, productivo y reproductivo.

Literatura Citada

- Beef Improvement Federation (BIF). 2002. Guidelines for uniform beef improvement programs. 8th edition. William D. Hohenboken (Ed.). Animal & Dairy Science Department, University of Georgia Athens, GA, USA. 165 p. <http://www.beefimprovement.org/library/06guidelines.pdf>
- Bourdon, R.M., and J.S. Brinks. 1983. Calving date versus calving interval as reproductive measure in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 57: 1412-1418.
- Carpenter, B.B. 1998. Beef cattle reproduction in the south Texas region of Tamaulipas Biotic Province. pp. 145-152. *In: Memorias del Taller de Ganadería de Bovinos de Carne del Noreste de México y Sur de Texas.* Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamps., México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2006. Comisión Nacional del Agua. Saltillo, Coah., México. pp: 85-97.
- Cundiff, L.V., R. Nunez, G.E. Dickerson, K.E. Gregory, and R.M. Koch. 1992. Heterosis for lifetime production in Hereford, Angus, Shorthorn and crossbred cows. *J. Anim. Sci.* 70: 2397-2405.
- Deutscher, G.H., J.A. Stotts and M.K. Nielsen. 1991. Effects of breeding season length and calving season on range beef cow productivity. *J. Anim. Sci.* 69:3453-3460.
- Drennan, M.J., and D.P. Berry. 2006. Factors affecting body condition score, live weight and reproductive performance in spring-calving suckler cows. *Irish J. Agric. Food Res.* 45: 25-38.
- Forni, S., L. Talarico, L. G. de Albuquerque. 2003. Análise genética da característica dias para o parto em bovinos da raça Nelore. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 11: 143-148.
- García E., R. 2006. Factores nutricionales y de manejo que afectan la eficiencia productiva y reproductiva de vacas Charolais y Hereford en agostadero. Tesis Doctor en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México. pp: 74-80.
- García, P.J.A., R. Alberio, M.C. Miquel, M.O. Grondona, J. Carrillo, and G. Schiersmann. 1992. Effects of calving date on lifetime productivity of cows in a winter calving Aberdeen Angus herd. *J. Anim. Sci.* 55: 177-184.
- Goyache, F., J.P. Gutiérrez, I. Fernández, L.J. Royo, and I. Álvarez. 2005. Genetic analysis of days open in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 93: 283-289.
- Grings, E.E., R.E. Short, K.D. Klement, T.W. Geary, M.D. MacNeil, M.R. Haferkamp, and R.K. Heitschmidt. 2005. Calving system and weaning age effects on cow and preweaning calf performance in the Northern Great Plains. *J. Anim. Sci.* 83: 2671-2683.
- Grings, E.E., T.W. Geary, R.E. Short, and M.D. MacNeil. 2007. Beef heifer development within three calving systems. *J. Anim. Sci.* 85: 2048-2058.
- Guerra, I.D., J.L.E. Villavicencio, A.P. Espinosa, D.G. Pená, F.R. Almeida, and A.G. Trujillo. 2009. Componentes de (co)varianza de los días abiertos en bovinos Santa Gertrudis. *Téc. Pecu. Méx.* 47: 145-155.
- Gutiérrez, J.P., I. Álvarez, I. Fernández, L.J. Royo, J. Díaz, and F. Goyache. 2002. Genetic relationship between calving date, calving interval, age at first calving and type traits in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 78: 215-222.
- Houghton, P.L., R.P. Lemanager, L.A. Horstman, K.S. Hendrix, and G.E. Moss. 1990. Effect of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *J. Anim. Sci.* 65: 1438-1446.
- Johnston, D.J., and K.L. Bunter. 1996. Days to calving in Angus cattle: Genetic and environmental effects, and covariances with others traits. *Livest. Prod. Sci.* 45: 13-22 (Abstr).
- López de Torre, G., and J.S. Brinks. 1990. Some alternatives to calving date and interval as measures of fertility in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68: 2650-2657.
- Luna de la Peña, R., D.G. Iglesias, D.G. Peña, J.L.E. Villavicencio, A.P. Espinosa, and R.N. Domínguez. 2008. Componentes de (co)varianza de caracteres reproductivos y su relación genética con el peso al destete en el ganado Cebú de Cuba. *Téc. Pecu. Méx.* 46: 225-234.
- MacGregor, R.G., and N.H. Casey. 2000. The effects of maternal calving date and calving interval on growth performance of beef calves. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 30: 70-76.
- Marshall, D.M., W. Minqiang, and B.A. Freking. 1990. Relative calving date of first-calf heifers as related to production efficiency and subsequent reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 68: 1812-1817.

- Melton, B.E. 1995. Conception to consumption: The economics genetic improvement. pp: 49-47. *In: Proc. Beef Improvement Federation 27th Research Symposium and Annual Meeting, Sheridan, Wyoming.*
- Osterman, S., and J. Bertilsson. 2003. Extended calving interval in combination with milking two or three times per day: effects on milk production and milk composition. *Livest. Prod. Sci.* 82: 139-149.
- Osoro, K., and I.A. Wriarth. 1992. The effect the body condition, live weight, breed, age, calf performance, and calving date on reproductive performance of spring-calving beef cows. *J. Anim. Sci.* 70: 1661-1666.
- Pate, F.M. and W.E. Kunkle. 2003. Weaning beef calves at a later age to increase production. CIRS328. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Science. University of Florida. FL, USA. pp. 1-5.
- Perry, G., R. Daly, and T. Melroe. 2009. Increasing your calf crop by management, pregnancy testing, and breeding soundness examination of bulls. Bull. Ex2068. College of Agriculture & Biological Sciences. South Dakota State University. SD, USA. pp: 1-5.
- Peterson, G.A., T.B. Turner, K.M. Irvin, M.E. Davis, H.W. Newland, and W.R. Harvey. 1987. Cow and calf performance and economic considerations of early weaning of fall-born beef calves. *J. Anim. Sci.* 64: 15-22.
- SAS. 1989. SAS/Stat. User's Guide (Release 6.12). SAS inst. Inc. Cary, NC, USA.
- Walker, J., and G. Perry. 2007. Cow condition and reproductive performance. pp: 1-6. *In. Proceedings: The Range Beef Cow Symposium XX.* Fort Collins, CO, USA.
- Werth, L.A., S.M. Azzam, and J.E. Kinder. 1996. Calving interval in beef cows at 2, 3 and 4 years of age when breeding is not restricted after calving. *J. Anim. Sci.* 74: 593-596.
- Yagüe, G., F. Goyache, J. Becerra, C. Moreno, L. Sánchez, and J. Altarriba. 2009. Bayesian estimates of genetic parameters for pre-conception traits, gestation length and calving intervals in beef cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 114: 72-80.
-

Colofón

Esta edición de la Revista Agraria –*Nueva Epoca*– se terminó de imprimir en la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo Coah., el 8 de noviembre de 2011.



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

www.uaaan.mx - (844) 411-02-00; Fax (844) 411-02-00, Ext. 2041

e-mail: *investigacion@uaaan.mx*