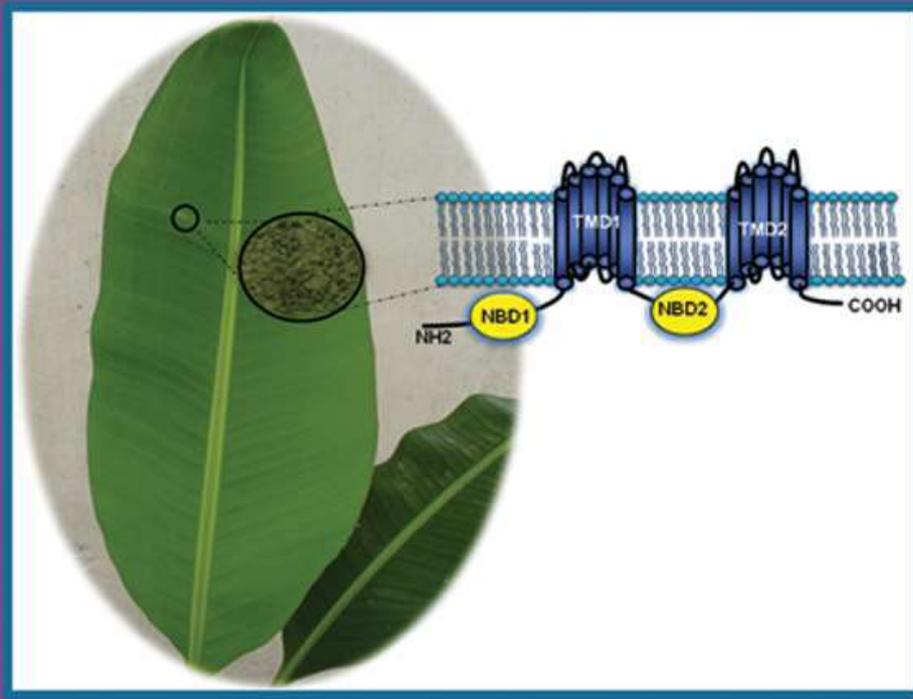


TECNOLOGÍA CIENCIA

Chihuahua

Revista de ciencia, tecnología y humanidades
Universidad Autónoma de Chihuahua



Transportadores
ABC involucrados
en patogénesis
fúngica



El Zinc como promotor de crecimiento y
fructificación en el nogal pecanero

Virus fitopatógenos que afectan al cultivo
de chile en México y análisis de las
técnicas de detección

latindex
PERIÓDICA

\$60.00
Volumen IV
Número 2
May-Ago 2010
ISSN: 1870-6606





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

C.P. RAÚL ARTURO CHÁVEZ ESPINOZA

Rector

ING. HERIBERTO ALTÉS MEDINA

Secretario General

DR. ALFREDO DE LA TORRE ARANDA

Director Académico

LIC. ALONSO GONZÁLEZ NÚÑEZ

Director de Extensión y Difusión Cultural

PH. D. ARMANDO SEGOVIA LERMA

Director de Investigación y Posgrado

C. P. MANUEL MENDOZA GARCÍA

Director de Planeación y Desarrollo Institucional

C. P. ROBERTO ZUECK SANTOS

Director Administrativo

TECNOCIENCIA Chihuahua

Comité Editorial Interno

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA

Editor en Jefe

Editores asociados

DRA. ALMA DELIA ALARCÓN ROJO

DRA. ANA CECILIA GONZÁLEZ FRANCO

DR. OSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES OLIVAS

DR. JUAN OLLIVIER FIERRO

DR. CARMELO PINEDO ÁLVAREZ

DR. JAVIER TARANGO ORTIZ

DRA. LUZ HELENA SANÍN AGUIRRE

DR. LUIS CÉSAR SANTIESTEBAN BACA

DRA. MARÍA DE LOURDES VILLALBA

Consejo Editorial Internacional

DR. GUILLERMO FUENTES DÁVILA

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Colegio de Posgraduados, México

DR. JOHN G. MEXAL

New Mexico State University, Estados Unidos de América

DR. ULISES DE JESÚS GALLARDO PÉREZ

Instituto de Angiología y Cirugía Vascular, La Habana, Cuba

DR. HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

DRA. ELIZABETH CARVAJAL MILLÁN

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México

DR. ALBERTO J. SÁNCHEZ MARTÍNEZ

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ

Instituto Politécnico Nacional, México

DR. LUIS FERNANDO PLENGE TELLECHEA

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

DR. HÉCTOR OSBALDO RUBIO ARIAS

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

DRA. ANGELA BEESLEY

University of Manchester, Reino Unido

DR. LUIS ALBERTO MONTERO CABRERA

Universidad de La Habana, Cuba

DR. RICARD GARCÍA VALLS

Universitat Rovira I Virgili, España

DR. LUIZ CLOVIS BELARMINO

Faculdade Atlantico Sul, Brasil

M.S.I. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA

Coordinador editorial

L.S.C.A. MARTHA IVETTE ACOSTA CHÁVEZ

Asistente editorial y Diseño

TECNOCIENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen IV, Número 2, Mayo-Agosto 2010. Publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Editor en Jefe: Dr. César Humberto Rivera Figueroa. ISSN: 1870-6606. Número de Reserva al Título en Derecho de Autor: 04-2007-0326610180900-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13868. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11441. Clave de registro postal PP08-0010. Domicilio de la publicación: Edificio de la Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria s/n, Campus Universitario I, C.P. 31170, Chihuahua, Chihuahua, México. Oficina responsable de la circulación: Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria, Campus Universitario I, C.P. 31170. Imprenta: Impresora Standar, Ernesto Talavera No. 1207, Teléfono 416-7845, Chihuahua, Chih. Tiraje: 1,000 ejemplares. Precio por ejemplar en Chihuahua: \$ 60.00 Costo de la suscripción anual: México, \$ 200 (pesos); EUA y América Latina, \$ 35 (dólares); Europa y otros continentes, \$ 40 (dólares). La responsabilidad del contenido de los artículos firmados es de sus autores y colaboradores. Puede reproducirse total o parcialmente cada artículo citando la fuente y cuando no sea con fines de lucro.

Teléfono: (614) 439-1822 (extensión 2213); fax: (614) 439-1823 (extensión 2209), e-mail: tecnociencia.chihuahua@uach.mx

Página web: <http://tecnociencia.uach.mx>

Contenido

Definición de la revista

I

Editorial

II

El científico frente a la sociedad

Educación en profunda crisis: Es necesario
empezar todo o casi todo de nuevo

Polan Lacki

60

Alimentos

El zinc como promotor de crecimiento y
fructificación en el nogal pecanero

*Eloisa Perea-Portillo
Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios
Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez
Dalila Jacqueline Escudero-Almanza
Jaime Javier Martínez-Téllez
Gustavo Rogelio López-Ochoa*

64

Virus fitopatógenos que afectan al cultivo de
chile en México y análisis de las técnicas de
detección

*Loreto Robles-Hernández
Ana Cecilia González-Franco
Emma Monserrath Gill-Langarica
Luis Pérez-Moreno
Julio César López-Díaz*

72

Medio ambiente y desarrollo sustentable

Revisión de las características de los transporta-
dores ABC involucrados en patogénesis fúngica

*Yeny Lizzet Couoh-Uicab
Blondy Beatriz Canto-Canché
Ignacio Islas-Flores*

87

Salud y deporte

Sensibilidad y especificidad de pruebas
diagnósticas para CaCu: Muestras de mestizas y
tarahumaras del Hospital General Salvador
Zubirán de la ciudad de Chihuahua

*Irene Leal-Berumen
Carlos Villalobos-Figueroa
Rosario Wisbrun-Castillo
Verónica Moreno-Brito
Ángel Licón-Trillo
Ruth Lechuga-Valles
Everardo González-Rodríguez
Imelda Alcalá-Sánchez*

97

Creatividad y desarrollo tecnológico

Efecto del ácido giberélico sobre la producción
hidropónica del tomate variedad Gabriela

*Pamela Ramos-Rivera
Mario Azael Rubio-Romero
G. Sonia Rodríguez-De la Rocha
S. Margarita Rodríguez-Rodríguez
Victor Santana-Rodríguez
Armando Quintero-Ramos*

106

Definición de la Revista *TECNOCIENCIA Chihuahua*

Publicación científica arbitrada de la Universidad Autónoma de Chihuahua

Objetivos

Servir como un medio para la publicación de los resultados de la investigación, ya sea en forma de escritos científicos o bien como informes sobre productos generados y patentes, manuales sobre desarrollo tecnológico, descubrimientos y todo aquello que pueda ser de interés para la comunidad científica y la sociedad en general. También pretende establecer una relación más estrecha con su entorno social, para atender a la demanda de los problemas que afectan a la sociedad, expresando su opinión y ofreciendo soluciones ante dicha problemática.

Visión

Mejorar de manera continua la calidad del arbitraje de los artículos publicados en la revista, proceso que se realiza bajo el sistema de doble ciego. Conformar el Consejo Editorial Internacional y cada Comité Editorial por área del conocimiento de la revista, incorporando como revisores a investigadores del país y del extranjero adscritos a instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación, que son reconocidos como académicos y científicos especializados

en su campo. La revista *TECNOCIENCIA Chihuahua* se publica cuatrimestralmente para divulgar los resultados de la investigación en forma de avances científicos, desarrollo tecnológico e información sobre nuevos productos y patentes. La publicación cubre las siguientes áreas temáticas: Alimentos, Salud y Deporte, Ingeniería y Tecnología, Educación y Humanidades, Economía y Administración, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Creatividad y Desarrollo Tecnológico.

Tipos de escritos científicos

En la revista se publican las siguientes clases de escritos originales: artículos científicos en extenso, notas científicas, ensayos analíticos, estudios de casos, revisiones temáticas, informes técnicos y resúmenes (o *abstracts*).

A quién se dirige

A científicos, académicos, tecnólogos, profesionistas, estudiantes y empresarios.

Editorial

En este fascículo se ha incluido el artículo de opinión titulado “Educación en profunda crisis: Es necesario empezar todo o casi todo de nuevo”, cuyo autor es el científico brasileño Polan Lacki. En las últimas décadas, Polan Lacki ha difundido en diversos foros internacionales, su tesis de que las instituciones educativas de Latinoamérica deben ser más pragmáticas, de tal forma que los educandos, al egresar, posean: principios, valores, actitudes, conocimientos, competencias y habilidades que los capaciten para generar riqueza y propongan soluciones a los problemas que afectan a la sociedad.

El artículo “El zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero”, analiza la importancia que tiene este mineral para satisfacer las necesidades del nogal, especialmente si los suelos son calcáreos, lo que disminuye su disponibilidad.

Hemos incluido el artículo “Virus fitopatógenos que afectan al cultivo de chile en México y análisis de las técnicas de detección”, porque los daños al cultivo ocasionados por esta clase de virus pueden llegar al 80 %, e incluso ocasionar la pérdida de la producción.

Un tema también de interés es abordado en el escrito “Revisión de las características de los transportadores ABC involucrados en patogénesis fúngica”; sus autores presentan una revisión del estado del arte de este tema, donde analizan los factores de patogenicidad de algunas especies de hongos de importancia agronómica.

Se ha incluido un artículo donde se aborda un tema acerca del cáncer cérvico uterino (CaCu), que es una de las enfermedades que causan mayor mortalidad en la mujer, por lo que su detección temprana permitiría salvar muchas vidas humanas si se le trata de manera oportuna. Los autores de este artículo recomiendan el uso de metodologías combinadas para detectar esta terrible enfermedad.

La hidroponía sigue siendo una importante alternativa para producir cosechas donde el agua escasea. En el artículo “Efecto del ácido girebólico sobre la producción hidropónica del tomate variedad “Gabriela”, los autores comparan diversas concentraciones de este regulador de crecimiento, señalando que los rendimientos obtenidos de algunos tratamientos fueron 19.6 % superiores al control.

Ph. D. César H. Rivera Figueroa
EDITOR EN JEFE

Educación en profunda crisis: Es necesario empezar todo o casi todo de nuevo

Education in deep crisis: We need to start everything or almost everything over

POLAN LACKI¹

Resumen

Latinoamérica sufre antiguas, muy dolorosas y crecientes consecuencias de un factor anti-desarrollo que, por acción o por omisión, está causando un daño profundo al desarrollo, a la prosperidad y al bienestar de la población. Es la educación, y en particular la incongruencia entre *lo qué y cómo* el sistema anacrónico de educación está enseñando, y *lo qué y cómo* debería enseñar. Las instituciones educativas de América Latina insisten en enseñar contenidos descontextualizados, irrelevantes y poco utilizables; sin embargo, lo que el mundo moderno necesita desesperadamente es una educación más pragmática, cuyos contenidos puedan utilizarse y aplicarse en la solución de los problemas que enfrentan los educandos en su vida cotidiana. Las autoridades educativas deben pasar de las inocuas reformas cosméticas, a una profunda y radical reforma educativa que produzca resultados concretos e inmediatos orientada a motivar y “empoderar” a los educandos para que quieran, sepan y puedan ser más eficientes y más autodependientes; también debe educárseles para que sean solucionadores de sus propios problemas, ciudadanos ejemplares que posean: principios, valores, actitudes, conocimientos y competencias, y que estén habilitados para que sepan generar riqueza e ingresos familiares, que puedan participar en la erradicación de la pobreza, prescindiendo de los simplistas programas paternalistas gubernamentales, que no son más que paliativos populistas que conducen a la miseria. Esta educación innovadora requiere de autoridades educativas competentes, que hayan demostrado creatividad, ingenio y competencia para formular y ejecutar soluciones inteligentes e innovadoras, capaces de provocar un gran impacto en la calidad educativa en los egresados.

Palabras clave: Reforma educativa, desarrollo, formación, profesores

Abstract

Latin America is suffering an old, very painful and growing consequences of a developing anti-factor that by acting or omission, is causing profound damage to development, prosperity and welfare of the population. It is the education, and particularly the incongruity between *what and how* our outdated education system is teaching, and *what and how* should teach. Educational institutions insist teaching decontextualized, irrelevant and not very usable contents, however, what the modern world desperately needs is a more pragmatic education, whose contents could be used and applied in solving problems faced by students in their everyday lives, and provide more and better contribution to the development of their communities. Educational authorities must move from inefficient, cosmetic reforms to a profound and radical educational reform that will produce immediate and tangible results aimed at motivating and “empower” the students to want, know and can be more efficient and more self-reliant; they also must be prepared to solving their own problems, exemplary citizens who have principles, values, attitudes, knowledge and skills, who can generate wealth and household income, enabled to participate in eradication of poverty, apart from the simplistic, paternalistic government programs that are merely palliative populist that lead to misery. This innovative education requires educational authorities who have demonstrated creativity, resourcefulness and competence to formulate and implement smart and innovative solutions, capable of causing a major impact on educational quality graduates.

Keywords: Educational reform, development, training, teachers

Introducción

En América Latina estamos sufriendo antiguas, muy dolorosas y crecientes, consecuencias de un factor de anti-desarrollo que está demostrando tener una extraordinaria fuerza para frenar y hasta anular los esfuerzos que están realizando los ciudadanos, las instituciones, las empresas y los gobiernos para promover el desarrollo económico y social de nuestros países. Lo paradójico es que dicho factor es una institución históricamente valorada, apreciada y reconocida por la opinión pública, pero que con el pasar de los años está deteriorando su imagen porque sus integrantes permanecen con los ojos cerrados y los oídos tapados, a pesar de los daños que, por acción o por omisión, está causándole al desarrollo, a la prosperidad y al bienestar de nuestros habitantes.

¹ Rua Bispo Dom José - 2051 - Apto.706 - Batel CEP: 80.440-080- Curitiba-PR-BRASIL. Teléfono: (55-41) 243-2366
Dirección electrónica del autor: Polan.Lacki@onda.com.br, Polan.Lacki@uol.com.br

Me refiero a la pésima calidad de nuestra educación y muy particularmente a la incongruencia existente entre *lo qué y cómo* nuestro anacrónico sistema de educación primaria, secundaria y terciaria está enseñando y *lo qué y cómo* debería enseñar para que los educandos puedan mejorar sus principios, valores, actitudes, conocimientos y competencias; y con ello tener un mejor desempeño en la vida personal, familiar, laboral, empresarial y cívico-comunitaria.

Con pocas excepciones, nuestras instituciones educativas han llegado a tal nivel de deterioro que no podemos seguir aceptándolo; su reconstrucción tiene que ser - en la práctica y no en la repudiable prédica demagógica - la más urgente prioridad de cada gobierno municipal, provincial y nacional. Porque, hablando objetivamente, no existen motivos para aceptar que todos los ciudadanos de cada país, directa o indirectamente, sigamos siendo afectados y penalizados por una educación disfuncional que insiste en enseñarnos contenidos descontextualizados que en gran parte son irrelevantes y poco utilizables; además de ser enseñados en forma muy teórica, abstracta, aburrida y mínimamente vinculada a las necesidades de vida y de trabajo de los educandos. Principalmente si consideramos que el mundo moderno está necesitando, desesperadamente, una educación más pragmática cuyos contenidos los educandos puedan utilizar y aplicar en la corrección de sus propias ineficiencias, como estrategia para que puedan solucionar los problemas que enfrentan en sus vidas cotidianas y ofrecer una mayor y mejor contribución al desarrollo de sus comunidades y de sus países.

¿Reformas cosméticas para “mantener las apariencias” o reformas profundas para cambiar de verdad?

Las autoridades educativas deben abandonar, de una vez por todas, las inocuas reformas cosméticas que han estado realizando, año tras año, durante las últimas décadas. Porque tales reformas están engañando a los educandos y condenándolos al desempleo y al fracaso como personas, como padres de familia, como trabajadores, como emprendedores y como miembros de sus comunidades. Es por esta

razón de fondo que los ministerios nacionales y las secretarías provinciales/departamentales y municipales de educación deben promover reformas educativas profundas y radicales que produzcan resultados concretos e inmediatos: en la formación y capacitación (más pragmática, funcional y práctica) de los docentes, en los contenidos curriculares, en los métodos pedagógicos, en la administración de las escuelas y en su relacionamiento con los padres de familia, con las comunidades y con el mercado laboral. Asimismo, deben promover reformas que modifiquen los generosos calendarios escolares (con cuatro horas de clases al día, ocho meses de clases al año y aún así llenos de celebraciones, asambleas, pre-feriados, pos-feriados, paros y huelgas). Estas generosidades son inaceptables porque si necesitamos que los alumnos aprendan más y mejor es indispensable que los profesores les enseñen más y mejor.

Todos los educandos deben ser formados para que puedan actuar como ciudadanos ejemplares

Con tal fin esta nueva educación deberá estar orientada a motivar y “empoderar” a los educandos para que quieran, sepan y puedan ser más eficientes y más autodependientes solucionadores de sus propios problemas. Una educación que les enseñe cómo elevar su productividad y su capacidad para generar más riquezas e ingresos familiares, como prerrequisitos para empezar a reducir la pobreza en la cual vive la mayoría de los educandos. Si queremos erradicar la pobreza no podemos seguir formando ciudadanos pasivos y dependientes de los simplistas programas paternalistas de regalar dinero a los pobres; porque éstos son pobres en dinero, porque son pobres en conocimientos, que sus padres y especialmente el sistema de educación no les proporcionaron. Estos paliativos populistas están destruyendo la dignidad de los pobres y condenándolos al fatalismo, a la pasividad, a la ociosidad, a los vicios y conduciéndolos a una miseria que, con la “ayuda” del ganar sin trabajar, se vuelve irreversible. El sistema de educación debe formar y capacitar una nueva generación de ciudadanos, que posean los principios, los valores, las actitudes y las competencias necesarias para que ellos mismos

puedan evitar/corregir/eliminar los errores e ineficiencias que están cometiendo, porque generalmente son estos los principales causantes de su propio subdesarrollo. Una educación funcional y de buena calidad debe tener como objetivo y estrategia convertirlos en ciudadanos más honrados, más honestos, más responsables, más conscientes de sus deberes, más creativos, más productivos, más emprendedores, más solidarios y más activos y eficientes protagonistas en la solución de sus problemas personales, familiares, laborales y comunitarios.

Los ministros y secretarios de educación deben tener “hojas de vida” que los recomienden

Por una cuestión de coherencia, esta educación innovadora requiere de autoridades educativas que también tengan actitudes y procedimientos innovadores y ojalá revolucionarios. Los puestos de ministros nacionales y de secretarios provinciales/ departamentales y municipales de educación ya no pueden seguir siendo atribuidos a oportunistas de ocasión que ayudaron a elegir a los gobiernos de turno. Dichos puestos deberán ser ocupados por los más competentes educadores de cada país, provincia y municipio. Competentes, no necesariamente por tener muchos títulos académicos colgados en las paredes, sino que en el sentido de que en sus “hojas de vida” hayan demostrado creatividad, ingenio y competencia técnico-administrativa para formular y ejecutar soluciones inteligentes e innovadoras, que sean capaces de provocar un gran impacto en la calidad educativa y en las actitudes y competencias de los egresados. En las instituciones educativas, muchísimo más que en cualquier otro organismo o empresa, la meritocracia tiene que ser un principio irrenunciable e innegociable. Una misión con tan elevada importancia estratégica, económica y social, no puede seguir siendo atribuida a los malos políticos y mucho menos a los malos sindicalistas de la educación porque éstos suelen estar cada vez menos preocupados en educar y cada vez más dedicados a hacer proselitismo político y a catequizar ideológicamente a los estudiantes. La educación debe ser política e ideológicamente neutral.

A pesar de todo, es muchísimo lo que pueden hacer los profesores para mejorar la educación

Por supuesto que las adecuadas decisiones políticas de los ministros y secretarios de educación y las eficientes administraciones de los rectores/decanos/directores de las unidades educativas son importantes. Sin embargo, ellas no producirán los resultados necesarios si los integrantes del más importante y más decisivo estamento de la educación - los profesores - no asumen como suyo el desafío de mejorar su propio desempeño y por ende la calidad de la educación que imparten. Por más adversas que sean sus condiciones laborales y salariales es mucho lo que los profesores pueden hacer para revertir la baja calidad educativa y el creciente deterioro de la educación. En muchos casos ellos no necesitan condicionar la mejora de su desempeño docente a que los gobiernos adopten altas decisiones políticas y aporten recursos adicionales. Porque muchas de las actuales ineficiencias son tan elementales, de fácil corrección y de tan bajo costo que pueden ser evitadas, corregidas o eliminadas por los propios profesores, independientemente de lo que hagan o dejen de hacer los ministros y secretarios de educación, los rectores de las universidades y los decanos y directores de las facultades y escuelas. Conscientes de que es muy poco lo que ellos pueden esperar de sus debilitados y endeudados gobiernos, es necesario que los profesores hagan un esfuerzo adicional y asuman un mayor protagonismo y liderazgo en la corrección de las profundas ineficiencias, debilidades y disfuncionalidades de las instituciones educativas. Es para esto que todos los ciudadanos a través de sus impuestos (inclusive los contribuyentes muy pobres que coincidentemente son los más castigados por la baja calidad de la educación), financiaron la formación académica de los profesores y están pagando, aunque en muchos casos muy mal, sus salarios.

Críticas y contribuciones para mejorar este planteamiento serán bienvenidas a través de los e-mails: Polan.Lacki@onda.com.br, Polan.Lacki@uol.com.br

El resumen de la trayectoria profesional y otros artículos del autor están disponibles en la página:

<http://www.polanlacki.com.br> 

Este artículo es citado así:

Lacki, P. 2010: *Educación en profunda crisis: es necesario empezar todo o casi todo de nuevo*.
TECNOCENCIA Chihuahua 4(2): 60-63.

Resumen curricular del autor

POLAN LACKI. Nació y vivió su infancia y adolescencia en la zona rural del municipio de Foz do Iguaçu en Brasil. Gracias a esta circunstancia empezó a conocer desde niño los problemas de la agricultura, conviviendo con ellos, y aprendió varias actividades agrícolas y ganaderas, ejecutándolas. Es Ingeniero Agrónomo por la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro. Aún joven tuvo la excelente oportunidad de trabajar durante más de cinco años como extensionista, con los agricultores más pobres de Brasil, en el Estado de Piauí, lejos del apoyo gubernamental, donde se dio cuenta que era necesario hacer algo radicalmente diferente, como por ejemplo, ofrecer a los productores rurales soluciones que fuesen de fácil adopción y de bajo costo. Con ese propósito emancipador empezó a buscar soluciones en las cuales los conocimientos adecuados pudiesen contrarrestar la insuficiencia de recursos productivos, priorizó soluciones más autárquicas, más auto-dependientes y más autogestionarias, orientadas al siguiente reto: *qué y cómo hacer para que los agricultores pudiesen ser eficientes y competitivos con menos créditos, con menos subsidios, con menos inversiones, con menos garantías oficiales de comercialización, en fin, con menos Estado*. Posteriormente, y durante 23 años sin interrupción, trabajó en la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. Para mejorar los fundamentos técnicos de su propuesta emancipadora, que en aquel entonces aún era muy incipiente, siguió recogiendo nuevos resultados de investigaciones y experiencias. Con tal fin, visitó muchos municipios de Brasil y todos los 18 países hispanohablantes de América Latina. En ese largo período dictó conferencias en aproximadamente 430 eventos nacionales e internacionales, convocados por los más importantes organismos de la ONU y de la OEA, universidades, ministerios de agricultura, organismos de investigación y extensión rural y gremios de productores rurales. Los aportes que recogió en esas múltiples actividades confirmaron y fortalecieron su convicción de que la *principal causa* de la pobreza rural es la falta de conocimientos adecuados; y no necesariamente la falta de políticas, créditos, subsidios, garantías de precios y otras ayudas paternalistas. Actualmente coordina una amplia red electrónica de recolección y difusión de experiencias cuyo propósito es demostrar lo siguiente: si les ofrecemos una educación útil, contextualizada y de buena calidad, "todos los agricultores, inclusive los pequeños y pobres, pueden ser eficientes y competitivos". Los 154,000 miembros que integran dicha red alimentan, retroalimentan, perfeccionan y legitiman, con sus aportes técnicos y especialmente con sus críticas, esta propuesta educativo-emancipadora; y también dicta conferencias dirigidas especialmente a las personas que, *en la era del conocimiento*, deberán asumir el liderazgo y actuar, directa y/o indirectamente, como los principales protagonistas en la solución de los problemas agrícolas y rurales de América Latina. E-mail: Polan.Lacki@onda.com.br, Polan.Lacki@uol.com.br

El zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero

The zinc as a promoter of growth and fruiting in pecan trees

ELOISA PEREA-PORTILLO¹, DÁMARIS LEOPOLDINA OJEDA-BARRIOS^{1,2}, OFELIA ADRIANA HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ¹, DALILA JACQUELINE ESCUDERO-ALMANZA¹, JAIME JAVIER MARTÍNEZ-TÉLLEZ¹ Y GUSTAVO ROGELIO LÓPEZ-OCHOA¹

Recibido: Mayo 19, 2010

Aceptado: Julio 7, 2010

Resumen

Las necesidades de zinc (Zn) que tiene el nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch]; lo ubican como uno de los micronutrientes más requeridos por este árbol. Esto es presuntamente originado por su indisponibilidad en suelos calcáreos que predominan en el norte de México. En la actualidad la deficiencia de este elemento produce un decremento aproximado del 20 % en la producción y la calidad de la nuez. Las prácticas de manejo de este nutriente en las huertas nogaleras consisten en aplicaciones foliares; desde el periodo de brotación hasta el crecimiento rápido de fruto, aplicando productos de Zn, incluyendo sulfatos y quelatos. El presente escrito pone en relieve el estado del arte sobre la importancia del Zn en los procesos fisiológicos y bioquímicos; así como también las causas y corrección de su deficiencia y toxicidad en el cultivo del nogal pecanero. Se puede concluir que el Zn es un elemento esencial, que influye en los procesos de crecimiento y fructificación en el árbol de nogal pecanero, el cual si es aplicado foliarmente prevé y corrige la deficiencia que presente el árbol, pero si es aplicado edáficamente; la respuesta puede tardar algunos años.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, ácido indolacético, fertilización foliar, quelatos.

Abstract

The need of Zinc (Zn) the pecan tree [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] has ranks Zinc as one of the most required micronutrients. This need is presumably caused by Zn unavailability in calcareous soils that predominate in the north of Mexico. Currently, the deficiency of this element causes an approximate 20% decrease in the production and quality of the pecan nut. The management practices of this nutrient in the pecan tree orchards consist in foliar applications, from sprouting to fruit's rapid growth period, using Zn products, including sulfates and chelates. This article highlights the state of the art about the role that Zn plays in the physiological and biochemical processes, as well as the causes and correction of its deficiency and toxicity in pecan tree growing. It can be concluded that Zn is an essential element that influences the growth and fruiting processes of the pecan tree, which if applied foliar prevents and corrects the deficiency presented by the tree, but if it is edaphically applied then response may take some years.

Keywords: *Carya illinoensis*, indoleacetic acid, foliar fertilization, chelates.

Introducción

Uno de los principales factores a considerar en el manejo técnico de una huerta nogalera es la nutrición mineral, ya que el 30 % de los gastos dentro de una huerta corresponden a fertilización; 15 % a nitrógeno (N) y el otro 15 % a Zn (SAGARPA, 2008). En la actualidad, la práctica de corrección de la deficiencia de Zn en nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.)

¹ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria S/N Campus 1, Chihuahua, Chih., 31310.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: dojeda@uach.mx.

C. Koch], cultivado en suelos alcalinos, consiste en aplicaciones foliares, en el periodo de brotación hasta crecimiento rápido de fruto con diferentes productos de Zn, incluyendo sulfatos y quelatos. Sin embargo, en la actualidad no hay un consenso de qué producto es más efectivo para suministrar este micronutriente al árbol (Ojeda *et al.*, 2009). Es por lo anterior, que el presente escrito pretende discernir los procesos bioquímicos y fisiológicos que guarda el zinc, así como, también las causas y corrección de su deficiencia y toxicidad en el cultivo del nogal pecanero para plantear el estado del arte que guarda este tema.

Bioquímica y Fisiología del Zinc. El Zn es esencial para los procesos fisiológicos de las células. Este elemento no tiene actividad redox pero participa en la estructura y/o catálisis de muchos procesos y es el único metal de su clase presente en las enzimas (Barak y Helmke 1993). Cuando existe un exceso de Zn en la planta, disminuye la absorción de N, magnesio (Mg), potasio (K) y manganeso (Mn), considerando que la concentración de fósforo (P) y calcio (Ca) aumentan solamente en la raíz (Sagardoy *et al.*, 2008). El mecanismo que controla la homeostasis del Zn aún no se conoce (Hacisalihoglu *et al.*, 2004; Broadley *et al.*, 2007; Kramer *et al.*, 2007). Las raíces de las plantas adquieren el Zn predominantemente como ion divalente (Zn^{+2}) y es totalmente distribuido en la planta para complementar una serie de procesos. Se descubrió en años recientes que varias familias de plantas transportan metales pesados y que existe un medio de transporte de Zn por la membrana, pero es complicado en una minoría de árboles: ZIP (IRT-like proteínas) (Wintz *et al.*, 2003), CDF (Cación Facilitador de Difusión de proteínas) (Blaudez *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2003; Kobae *et al.*, 2004; Kramer, 2005) y P1B-type ATP-asas (HMAs, metal transportador de ATP-asas) (Hussain *et al.*, 2004; Papoyan y Kochian 2004; Verret *et al.*, 2004; Mills *et al.*, 2005). Entre las funciones del Zn en la planta son en el transporte, captación, emisión de vapores, compartimentación, almacenaje y

desintoxicación (Kramer *et al.*, 2007). El Zn también es un activador o cofactor de enzimas tales como la anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, ARN polimerasa y superóxido dismutasas (Marchner, 1986). Después de ser captado, el Zn es transportado por medio del xilema donde es quelado por diferentes moléculas pequeñas (Haydon y Cobbet, 2007), incluidos los ácidos orgánicos tales como citrato (Broadley *et al.*, 2007), malato y nicotinamina (Callahan *et al.*, 2006). Cuando la oferta de Zn es alta, una gran parte de este nutriente en la célula también es quelatado por ácidos orgánicos como el malato y citrato (Kupper *et al.*, 2004), aminoácidos como histidina (Callahan *et al.*, 2006), fitatos y metalotioninas (Papoyan y Kochian, 2004) y lo demás es almacenado en las vacuolas. Srivastava y Singh (2009) explican que el Zn cataliza la síntesis de la serina, la cual es precursora del aminoácido triptófano, que en la hoja es convertido en ácido indolacético. Esta auxina es responsable del crecimiento del brote y de la hoja, por lo que es normal que ambos disminuyan su tamaño cuando el Zn llega a ser deficiente, deteniéndose el crecimiento terminal y forzando a las yemas laterales a crecer débilmente, lo cual forma el síntoma de roseta (Flores *et al.*, 2009).

Importancia del Zinc en el Nogal. Además del N, el Zn es el nutriente que más atención ha recibido en los programas de manejo e investigación del cultivo del nogal; debido a su poca disponibilidad en el suelo y a las necesidades de los árboles, se ha vuelto un elemento clave (Wood, 2007). Las necesidades de Zn que tiene el nogal, lo ubican como uno de los nutrientes más requeridos por este árbol; la deficiencia de Zn produce clorosis intervenal fácil de observar, lo que se ha relacionado con un papel estabilizador del Zn sobre la molécula de clorofila (Ojeda *et al.*, 2009). Wood (2007) indica que después de la brotación, la concentración foliar de Zn baja, debido a un efecto de disolución causado por el crecimiento e incremento en la densidad de folíolos, en relación a una cantidad aproximadamente constante del nutriente en el tejido. Cuando este

elemento es acumulado en la hoja, generalmente permanece en ella y en el mejor de los casos es transportado a los puntos de crecimiento (Wood, 2007). Hay una clara relación entre los niveles de Zn y la concentración de auxinas que, incluso, llega a disminuir antes de que se manifieste la deficiencia de Zn en la planta (Smith *et al.*, 2007). Sin embargo, la absorción de Zn puede ser impedida por las concentraciones altas de boro (B) en el agua de riego y el suelo, ocasionando un antagonismo entre estos dos nutrientes sin que a la fecha se tengan reportes de trabajos similares (Wells y Wood, 2008).

Deficiencia de Zinc. Los síntomas de deficiencia de Zn aparecen en el nogal cuando el contenido foliar del elemento es de 20 mg kg⁻¹ peso seco o menos, para la región de Aldama, Chihuahua (Ojeda *et al.*, 2009). Wood (2007) considera que la carencia se presenta cuando en el ciclo anterior aparecieron síntomas leves y el análisis foliar mostró menos de 60 mg kg⁻¹. Núñez-Moreno *et al.* (2009a) opinan que los síntomas de deficiencia aparecen cuando su concentración en la hoja baja de 20 mg kg⁻¹ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración foliar de Zinc donde aparecen síntomas visuales de deficiencia en el cultivo del nogal pecanero, para la regiones de Aldama, Chihuahua, México; Arizona y Georgia, Estados Unidos de Norteamérica, de acuerdo a diferentes autores.

Deficiencia	Autor
< 20 mg kg ⁻¹	Ojeda <i>et al.</i> , 2009
< 20 mg kg ⁻¹	Núñez-Moreno <i>et al.</i> , 2009a
< 60 mg kg ⁻¹	Wood, 2007

También indican que huertas con un promedio de 20 a 40 mg kg⁻¹ de Zn foliar son poco productivas, considerándose este nivel como de “hambre oculta”. El síntoma de muerte regresiva generalmente aparece después de que

los árboles han sufrido deficiencia de Zn durante varios años; pero la producción es afectada antes de que los síntomas de rosetado o muerte regresiva se expresen (Flores *et al.*, 2009). Vargas y Arreola (2008) indican que tanto la concentración de clorofila como la fotosíntesis neta disminuyen en las hojas del nogal cuando hay carencia de dicho elemento. De ahí que uno de los síntomas de la falta del nutriente sea una clorosis en los folíolos por lo anterior se puede decir que la reducción de la fotosíntesis significa hojas menos productivas (Srivastava y Singh, 2009). De acuerdo con la deficiencia de Zn, puede ser ligera cuando las hojas tienen un color claro, presentando algunas amarillamiento intervenal y ondulado marginal, siendo su tamaño más pequeño; cuando es moderada, se presentan hojas con una pronunciada reducción de su tamaño y con amarillamiento entre las venas (Smith *et al.*, 2007), los folíolos son angostos y el crecimiento apical es corto; la carencia severa se caracteriza por hojas extremadamente pequeñas con folíolos angostos sin crecimiento apical, de un color verde claro con amarillamiento intervenal; en este nivel, los árboles presentan muerte regresiva en sus brotes y en algunos casos mueren por completo (Hu y Sparks, 1991). Según Srivastava y Singh (2009) bajo condiciones de campo la deficiencia de Zn generalmente ocurre sólo en una parte de los árboles de la huerta o en partes de los árboles individuales (Figura 1).

Toxicidad con Zinc. Cuando existe un exceso de Zn en la planta disminuye la absorción de N, Mg, K y Mn, considerando que la concentración de P y Ca aumentan solamente en la raíz (Sagardoy *et al.*, 2008). En muchos casos, el exceso de Zn genera una especie de reactivación oxidativa y/o desplaza a otros metales del lugar de activación de la síntesis de proteína. La toxicidad induce clorosis en hojas jóvenes y también provoca la deficiencia de hierro (Fe) y Mg por suplantación, esto es debido a que los tres metales tienen ión divalente; otro síntoma común incluye reducción del contenido de agua en los tejidos y cambios en la concentración de P y Mg en el tejido de la planta (Kramer *et al.*, 2007).

Figura 1. De derecha a izquierda: hojas cloróticas en nogal pecanero, síntoma de roseteado y hojas con síntoma visible de necrosis



Causas y Corrección de la Deficiencia de Zinc en Nogal

El Zinc en el Suelo de Huertas Nogaleras. El nogal pecanero generalmente presenta problemas de deficiencias de elementos menores como Zn, Mn y Fe (Smith *et al.*, 2007). El Zn generalmente se encuentra disponible en un suelo con un pH de 5.0 a 7.0; a pH más alto, el Zn forma compuestos poco solubles como $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$ y $Zn_3(PO_4)_2$ (Ojeda *et al.*, 2009). La disponibilidad del Zn para las plantas en suelos de pH alcalino es reducida y el nogal pecanero, particularmente, presenta poca habilidad para obtener este nutriente de dichos suelos debido a que el carbonato de calcio reacciona con el Zn, lo que reduce su disponibilidad (Wells y Wood, 2008; Núñez-Moreno *et al.*, 2009a). Se ha establecido que en los suelos alcalinos con pH que varía de 7 a 8.6 el Zn es atado por el ión carbonato, formando $ZnCO_3$, el cual es muy insoluble, de ahí que las aplicaciones de Zn al suelo no resulten efectivas y que sólo se restrinjan estrictamente a suelos que no son calcáreos, por lo tanto, si los nogales crecen en un suelo de este tipo, la carencia de Zn se presentará invariablemente (Wood, 2007; Rivera-Ortiz *et al.*, 2008). Otra causa común de la deficiencia de Zn, es la reducida penetración radicular debido a la compactación del suelo por el tráfico, la existencia de capas endurecidas (Broadley *et al.*, 2007) o el anegamiento. Hay que señalar que la cantidad total de micronutrientes en un suelo no es suficiente para indicar su posibilidad de

utilización por un cultivo, puesto que una parte importante puede encontrarse en los minerales no alterados, que no serán solubles (Núñez-Moreno *et al.*, 2009b). La disponibilidad de un micronutriente está en función de la “forma” en que se encuentre en el suelo, la cual determina su “movilidad” hacia las raíces de las plantas (Ojeda *et al.*, 2009). Por tanto, los principales factores susceptibles de generar o agravar la deficiencia de Zn son la escasez natural o la baja disponibilidad que presenta este nutriente en los suelos (Amiri *et al.*, 2008). Los factores que afectan a la deficiencia han sido estudiados por numerosos autores (Kim *et al.*, 2003; Ojeda *et al.*, 2009; Núñez-Moreno *et al.*, 2009b) siendo los más importantes la cantidad de Zn total en la mayoría de los suelos que es superior a las necesidades de los cultivos y las deficiencias de Zn que se encuentran sobre todo en los suelos con pH elevado o en los suelos que han sido fuertemente encalados (Flores *et al.*, 2009).

Aplicaciones Edáficas con Zinc. Núñez-Moreno *et al.* (2009b) mencionan que los problemas nutricionales frecuentemente limitan la productividad de las huertas nogaleras; además, señalan que para su crecimiento y producción normal, el nogal requiere de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn y Na; El nogal también requiere de azufre (S), cloro (Cl), B y molibdeno (Mo). Estos elementos, al igual que los descritos anteriormente, son esenciales en plantas superiores. Durante el periodo de crecimiento del fruto, su contenido de K se incrementa ocho veces, el del Cu seis, el del N, P, Fe y Zn cinco veces y el del Mg y B tres veces,

el Ca y el Mn sólo 1.5 veces (Wells y Wood, 2008). Se ha observado que en el nogal el N, P, K, Zn y Cu foliar disminuyen con la edad de la hoja, mientras que el Ca, Mg, Fe y Mn aumentan (Acuña *et al.*, 2003). Al aplicar Zn edáficamente, este puede reaccionar con hidróxidos y carbonatos en suelos alcalinos y calcáreos, formando compuestos de baja solubilidad, limitando la disponibilidad de este nutriente para las plantas (Núñez-Moreno *et al.*, 2009a). Sin embargo, las aplicaciones edáficas con Zn han resultado efectivas en suelos ácidos en el sureste de Estados Unidos (Wood, 2007), pero son menos efectivas para suelos alcalinos y particularmente en suelos calcáreos (Núñez-Moreno *et al.*, 2009a), por otra parte, en suelos alcalinos, se ha encontrado respuesta a la aplicación de materia orgánica y Zn (Núñez-Moreno *et al.*, 2009b). La respuesta del nogal a las aplicaciones edáficas con Zn pueden tomar algunos años dependiendo del rango de aplicaciones, manera de fertilizar y método de aplicación.

En un suelo ácido en Georgia, EE. UU. se realizó un experimento en donde se aplicaron 35 mg Kg⁻¹ de sulfato de Zn, 35 mg Kg⁻¹ de óxido de zinc y 3.5 mg kg⁻¹ de Zn-EDTA, esto con el motivo de recuperar los árboles que mostraban síntomas de deficiencia de Zn, pero sólo después de cuatro años se logró llevar a estos árboles a los óptimos niveles de Zn en la hoja, y se eliminaron los síntomas de deficiencia; aunque la recuperación fue muy baja, la respuesta a las aplicaciones de Zn-EDTA fue significativa después de dos años. Los efectos al aplicar óxido de Zn sólo aparecieron a los cuatro años y con sulfato de Zn no se tuvo ningún efecto (Núñez-Moreno *et al.*, 2009a). Fertilizar adecuadamente la huerta de nogal significa proveer la cantidad apropiada de nutrientes; la fertilización insuficiente produce la deficiencia nutricional y fertilizar en exceso origina un desbalance en la nutrición del árbol, situación no siempre tomada en cuenta por ser más difícil su detección e interpretación, pero tan perjudicial o más para el nogal que una deficiencia (Vargas-Piedra y Arreola-Ávila, 2008).

Ambas situaciones disminuyen la productividad de los árboles.

Aplicaciones Foliars de Zinc. La relativa inmovilidad del Zn en el árbol se ilustra con el crecimiento de un brote vegetativo largo, en el cual las hojas basales pueden ser de tamaño normal y las apicales pequeñas; esto es, la deficiencia en las hojas ocurre de manera inmediata cuando el nutrimento no es aplicado al follaje (Wood, 2007; Amiri *et al.*, 2008). Los brotes que tienen hojas grandes en la base, seguidas de hojas pequeñas carentes de Zn y luego hojas más grandes hacia la parte terminal son una ligera variante de esta deficiencia (Kilby, 2006). Vargas-Piedra y Arreola-Ávila (2008) recomiendan que la fertilización foliar se realice cubriendo completamente las partes aéreas de los árboles hasta llegar al punto de goteo o región inferior del dosel. Una vez absorbidos por la hoja, el N, P, K y Na se mueven libremente en el floema por todas las estructuras de la planta incluyendo raíces; el Zn, Cu, Mn y Fe tienen baja movilidad y sólo se extienden a los tejidos circundantes (Wood, 2007). Wood y Payne (1997) especifican que como el Zn no es transportado en el tejido vegetal, su aplicación foliar debe cubrir todo el árbol.

Núñez-Moreno *et al.* (2009b) mencionan que en el nogal pecanero, cultivado en suelos alcalinos de la región norte de México, el nivel de Zn varía entre 57 y 73 mg kg⁻¹ en hojas recolectadas en el mes de julio cuando el árbol se encuentra en pleno crecimiento. Se recomienda que la aspersión al follaje de elementos menores en los frutales es un método de suministro más rápido y efectivo que la aplicación al suelo (Wood, 2007). Aunque el efecto de la aspersión foliar sobre la nutrición del árbol es temporal, esta forma de fertilizar tiene ventajas cuando las bajas temperaturas, al inicio de la estación de crecimiento y el pH alcalino del suelo, no favorecen la disponibilidad de Zn (Lucena, 2009). En general, se reconocen tres épocas de aspersión vía foliar; en primer término la de primavera, al iniciar el periodo de crecimiento vegetativo. Enseguida la de verano, cuando el árbol está en pleno crecimiento hasta

antes de la cosecha (Ojeda *et al.*, 2009). Finalmente, las aplicaciones de otoño y de reposo, las cuales se realizan posteriormente a la cosecha; se consideran como fuente de reservas de elementos requeridos al inicio del siguiente ciclo de crecimiento (Wood, 2007). Se procura siempre que las hojas se encuentren todavía en buen estado para aprovechar al máximo su capacidad de absorción y el proceso de retranslocación hacia los órganos de reserva (Flores *et al.*, 2009). Finalmente, Rivera-Ortiz *et al.* (2008) mencionan que en frutales caducifolios se ha demostrado que los nutrientes asperjados no solamente son absorbidos por las hojas, sino también por los tallos y las ramas, donde la penetración se efectúa por las cicatrices de las ramas rotas, lenticelas y fisuras longitudinales de la corteza de los árboles en defoliación o en periodo de reposo, como se ha observado en algunos cítricos (Maldonado *et al.*, 2008).

Quelatos de Zinc. Un quelato es un compuesto químico en el que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ión metálico, de manera que lo protege de cualquier acción desde el exterior, evitando su oxidación y precipitación. Los quelatos, químicamente hablando, son por tanto, moléculas muy estables (Lucena, 2009). A nivel nutritivo, ya sea foliar o edáficamente, los quelatos resultan muy eficientes para corregir deficiencias o necesidades de la planta, es por lo anterior que se deben quelatar los elementos (Rodríguez-Lucena *et al.*, 2010). Si el quelato es aplicado al suelo, se usa para evitar que el elemento se precipite o sea más asimilable por la planta, o para agregar una dosis muy grande del elemento sin que sea fitotóxico, y si su uso es vía foliar, se usa para que no se precipite en el medio extracelular o también para poder agregar una dosis relativamente grande sin que sea fitotóxico (Lucena, 2009). En la actualidad, los quelatos atraen fuertemente la atención, ya que son una excelente alternativa para adicionar metales de manera edáfica y foliar a las plantas, estos pueden ser aplicados teniendo siempre presente las siguientes

consideraciones: 1) incrementan la solubilización de los metales, Fe, Zn y Mn; 2) transportan el elemento hacia la raíz y/u hoja de la planta; 3) una vez ahí, ceder el metal y 4) la parte orgánica del quelato debe volver a solubilizar más metal (Knepper *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2008). La concentración de Zn en el suelo depende de la composición del material parental y de la mineralogía del suelo, especialmente de la concentración de cuarzo (Flores *et al.*, 2009). Solamente una pequeña fracción del Zn está en forma intercambiable o soluble. Cerca de la mitad del Zn disuelto está presente como catión Zn hidratado (Ojeda *et al.*, 2009). La fracción soluble como catión divalente hidratado está inmediatamente disponible para las plantas (Srivastava y Singh, 2009).

Conclusión

La presente revisión resalta el estado del arte que guarda el Zn en los procesos bioquímicos y fisiológicos; incluyendo también las causas y corrección de su deficiencia y toxicidad en el cultivo del nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch]. Se concluye que el Zn es un elemento esencial, que influye en los procesos de crecimiento y fructificación en el árbol, el cual si es aplicado foliarmente, prevé y corrige cualquier deficiencia que presente el árbol, pero si es aplicado edáficamente la respuesta puede tardar algunos años. Sin embargo, en varios trabajos reportados se ha demostrado que en suelos alcalinos existe respuesta a la aplicación edáfica de materia orgánica y Zn, y en suelos ácidos las aplicaciones edáficas con Zn corrigen deficiencias de este nutriente.

Literatura citada

- ACUÑA-MALDONADO, L., M. Smith, N. Maness, B. Cheary. 2003. Influence of nitrogen absorption, partitioning, and yield of pecan. *HortScience* 128:155-162.
- AMIRI, M. E., E. Fallahi, A. Golchin. 2008. Influence of foliar and ground fertilization on yield, fruit quality, and soil, leaf, and fruit mineral nutrients in apple. *Plant Nutrition* 31:515-525.
- BARAK, P., P. Helmke. 1993. The chemistry of zinc. In: Robson A.D. (Ed.), *Zinc in Soil and Plants. Kluwer Academic Publishers*: 1-13.

- BLAUDEZ, D., A. Kohler, F. Martin, D. Sanders, M. Chalot. 2003. Poplar metal tolerance protein 1 confers zinc tolerance and is an oligomeric vacuolar zinc transporter with an essential leucine zipper motif. *Plant Cell* 15:2911-2928.
- BROADLEY, M.R., P.J. White, J.P. Hammond, I. Zelko, A. Lux. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist* 173:677-702.
- CALLAHAN, D.L., A.J.M. Baker, S.D. Kolev, A.G. Wedd. 2006. Metal ion ligands in hyperaccumulating plants. *Journal of Biological Inorganic Chemistry* 11:2-12.
- FLORES, M., A. Anchondo, M. Olivas, E. Sánchez. 2009. Acidificación en banda, labranza invernal y zinc en nogal pecanero. *En: memoria de artículos en resumen y en extenso. Memorias del 13º Día del Nogalero, Chihuahua, Chih. México.*
- HACISALIHOGU, G., J.J. Hart, C.E. Vallejos, L.V. Kochian. 2004. The role of shoot-localized processes in the mechanism of Zn efficiency in common bean. *Planta* 218:704-711.
- HAYDON, M.J., C.S. Cobbet. 2007. Transporters of ligands for essential metal ions in plants. *New Phytologist* 174:499-506.
- HU, H., D. Sparks. 1991. Zinc deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas exchange in 'Stuart' pecan. *HortScience* 26:267-268.
- HUSSAIN, D., M.J. Haydon, Y. Wang, E. Wong, S.M. Sherson, J. Young, J. Camakaris, J.F. Harper, C.S. Cobbet. 2004. P-Type ATPase heavy metal transporters with roles in essential zinc homeostasis in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 16:1327-1339.
- KIM, T., H. Mills, H. Wefzstein. 2003. Cytological and ultrastructural evaluations of Zinc deficiency in leaves. *HortScience* 128:171-175.
- KILBY, M. W. 2006. Fall-applied foliar Zinc for pecan. *HortScience* 41:275-276.
- KNEPPER, T. P., A. Werner, G. Bogenschutz. 2005. Determination of synthetic chelating agents in surface and waste water by ion chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography* 1085:240-246.
- KOBAE, Y., T. Uemura, M.H. Sato, M. Ohnishi, T. Mimura, T. Nakagawa, M. Maeshima. 2004. Zinc transporter of *Arabidopsis thaliana* AtMTP1 is localized to vacuolar membranes and implicated in zinc homeostasis. *Plant and Cell Physiology* 45:1749-1758.
- KRAMER, U. 2005. MTP1 mops up excess zinc in *Arabidopsis* cells. *Trends in Plant Science* 10:313-315.
- KRAMER U., I.N. Talke, M. Hanikenne. 2007. Transition metal transport. *FEBS letters* 581:2263-2272.
- KUPPER, H., A. Mijovilovich, W. Meyer-Klaucke, P.M.H. Kroneck. 2004. Tissue and age-dependent differences in the complexation of cadmium and zinc in the cadmium/zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* (Ganges Ecotype) revealed by X-ray absorption spectroscopy. *Plant Physiology* 134:748-757.
- LUCENA, J. J. 2009. El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Ceres* 56:527-535.
- MALDONADO, R. T., G. Almaguer, M. E. Álvarez, E. Robledo. 2008. Diagnóstico nutrimental y validación de dosis de fertilización para limón persa. *Terra Latinoamericana* 26:341-349.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press: Harcourt Brace Jovannovich, Publishers. London, San Diego, New York and Tokyo, p. 301, 312, 321.
- MILLS, R. F., A. Francini, P. S. C. Ferreira da Rocha, P. J. Baccharini, M. Aylett, G. C. Krijger, L. E. Williams. 2005. The plant P1B-type ATPase AtHMA4 transports Zn and Cd and plays a role in detoxification of transition metals supplied at elevated levels. *FEBS letters* 579:783-791.
- NÚÑEZ-MORENO, H., J. L. Walworth, A. P. Pond, M. Kilby. 2009a. Soil zinc fertilization of 'Wichita' pecan trees growing under alkaline soil conditions. *HortScience* 44:1736-1740.
- NÚÑEZ-MORENO, H., J. L. Walworth, A. P. Pond. 2009b. Manure and soil zinc application to "Wichita" pecan trees growing under alkaline conditions. *HortScience* 44:1741-1745.
- OJEDA-BARRIOS, D. L., O. A. Hernández-Rodríguez, J. Martínez-Téllez, A. Núñez-Barrios, E. Perea-Portillo. 2009. Aplicación foliar de quelato de zinc en nogal pecanero. *Revista Chapingo serie especial Horticultura* 15:205-210.
- PAPOYAN, A., L. V. Kochian. 2004. Identification of *Thlaspi caerulescens* genes that may be involved in heavy metal hyperaccumulation and tolerance. Characterization of a novel heavy metal transporting ATPase. *Plant Physiology* 136:3814-3823.
- RIVERA-ORTIZ, P., B. I. Castro-Meza, F. R. de la Garza-Requena. 2008. Clorosis férrica en cítricos y fertilización foliar. *Terra Latinoamericana* 27:11-16.
- RODRIGUEZ-LUCENA, P., L. Hernández-Apaolaza, J. J. Lucena. 2010. Comparision of iron chelates and complexes supplied as foliar sprays and in nutrient solution to correct iron chlorosis of soybean. *Soil Science* 173:120-126.
- SAGARDOY, R., A. F. Morales, López-Millán, A. Abadía, J. Abadía. 2008. Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics. *Plant Biology* 11:339-350.
- SAGARPA. 2008. Crecimiento en producción de nuez, favorece exportación a Norteamérica. Boletín NUM. 074/06. (www.sagarpa.gob.mx).
- SMITH, M. W., C. T. Rohla, N. O. Maness. 2007. Correlations of crop load and return bloom with root and shoot concentrations of potassium, nitrogen and nonstructural carbohydrates in pecan. *HortScience* 132:44-51.
- SRIVASTAVA, A. K., S. Singh. 2009. Zinc nutrition in Nagpur mandarin on Haplustert. National research centre for citrus, Nagpur, Maharashtra, India. *Plant Nutrition* 32:1065-1081.
- VARGAS-PIEDRA, G., J. G. Arreola-Ávila. 2008. Respuesta del nogal pecanero (*Carya illinoensis* K. Koch) a las aplicaciones foliares de nutrimentos. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 7:7-14.
- VERRET, F., A. Gravot, P. Auroy, N. Leonhardt, P. David, L. Nussaume, A. Vavasseur, P. Richard. 2004. Overexpression of AtHMA4 enhances root-to-shoot translocation of zinc and cadmium and plant metal tolerance. *FEBS letters* 576:306-312.
- WELLS M. L., B. W. Wood. 2008. Foliar boron and nickel applications reduce water-stage fruit-split of pecan. *HortScience* 43:1437-1440.
- WINTZ H., T. Fox, Y.-Y. Wu, V. Feng, W. Cheng, H.-S. Chang, T. Zhu, C. Vulpe. 2003. Expression profiles of *Arabidopsis thaliana* in mineral deficiencies reveal novel transporters involved in metal homeostasis. *Journal of Biological Chemistry* 278:47644-47653.
- WOOD, B. W., J. A. Payne. 1997. Comparison of ZnO and ZnSO₄ for correcting severe foliar zinc deficiency in pecan. *HortScience* 32:53-56.
- WOOD, B. W. 2007. Correction of zinc deficiency in pecan by soil banding. Dept. of Agriculture. *HortScience* 42:1554-1558. 

Este artículo es citado así:

Perea-Portillo, E., D. L. Ojeda-Barrios, O. A. Hernández-Rodríguez, D. J. Escudero-Almanza, J. J. Martínez-Téllez y G. R. López-Ochoa: 2010. *El zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 4(2): 64-71.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

ELOISA PEREA PORTILLO. Egresada de la carrera de Ingeniero en Producción y Comercialización Hortícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, realizó su tesis titulada: Aplicaciones foliares de quelatos de zinc en nogal pecanero, en diciembre del 2008. Actualmente es becaria CONACyT para realizar estudios de Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Ha participado en varios proyectos en el cultivo de nogal pecanero.

DÁMARIS LEOPOLDINA OJEDA-BARRIOS. Maestra-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su doctorado y maestría en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", su licenciatura en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Actualmente conduce investigaciones sobre desórdenes nutricionales en frutales caducifolios. Imparte los cursos de Nutrición Vegetal, Fisiología Vegetal y Anatomía Vegetal. Asesora de estudiantes de posgrado y licenciatura. Es responsable del área de Fisiología y Nutrición Vegetal con énfasis en Frutales Caducifolios en los cultivos de manzano y nogal pecanero, en el Laboratorio de Bioquímica Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas-UACH.

OFELIA ADRIANA HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ. Maestra-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Cursó la licenciatura en la Facultad de Fruticultura de la Universidad Autónoma de Chihuahua, otorgándosele en 1985 el título de Ingeniero Fruticultor. Realizó estudios de posgrado en la misma Facultad, obteniendo en el año de 1994 el grado de Maestro en Ciencias de la Productividad Frutícola. Posee el Doctorado in Philosophia, con Área Mayor en Manejo de Recursos Naturales, grado conferido en 2008 por la Facultad de Zootecnia de la UACH. Se desempeña como maestra de tiempo completo en la UACH desde 1986. Ha sido responsable de varios proyectos de investigación en proceso y concluidos a nivel licenciatura. Ha participado como ponente en congresos científicos nacionales e internacionales, y en publicaciones de artículos científicos y de divulgación como autora y coautora.

DALILA JACQUELINE ESCUDERO-ALMANZA. Egresada de la carrera de Químico Bacteriólogo Parasitólogo en la Facultad de Ciencias Químicas en 2009. Actualmente es becaria CONACyT para realizar estudios de maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

GUSTAVO R. LÓPEZ-OCHOA. Ingeniero Industrial en Producción titulado por el Instituto Tecnológico de Chihuahua en 1990, con Maestría en Administración por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Trabajó por más de diez años en el Departamento de Análisis e Integración de Tecnologías de la Dirección de Investigación y Posgrado de la UACH. Actualmente es profesor en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH. Su área de interés es la gestión de la tecnología.

JAIME JAVIER MARTÍNEZ-TÉLLEZ. Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Los estudios de licenciatura los llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Chihuahua, la maestría y doctorado los realizó en la Université de Bordeaux II Francia. Es asesor de estudiantes de posgrado y licenciatura. Actualmente lleva a cabo proyectos de investigación en patología en diferentes cultivos, con énfasis en agricultura orgánica.

Virus fitopatógenos que afectan al cultivo de chile en México y análisis de las técnicas de detección

Plant pathogenic viruses that affect pepper in Mexico and analysis of the detection techniques

LORETO ROBLES-HERNÁNDEZ¹, ANA CECILIA GONZÁLEZ-FRANCO^{1,3}, EMMA MONSERRATH GILL-LANGARICA¹, LUIS PÉREZ-MORENO² Y JULIO CÉSAR LÓPEZ-DÍAZ¹

Recibido: Febrero 3, 2010

Aceptado: Abril 13, 2010

Resumen

El objetivo de este trabajo fue revisar los virus más importantes que afectan al cultivo del chile en México y analizar las técnicas que recientemente se han aplicado en su detección e identificación. Las enfermedades causadas por virus fitopatógenos tienen un impacto importante en la productividad del chile, ya que causan una reducción de hasta un 80%, debido a que estos "organismos" tienen la habilidad de infectar a la planta local y sistémicamente; en esta última, el virus entra a la célula, se replica y luego se mueve hacia el floema hasta colonizar toda la planta. En México se han reportado 13 géneros de virus que afectan al chile, los cuales causan síntomas variados, incluyendo enanismo, mosaicos, moteados, necrosis, clorosis, deformaciones, etc. Aunque en muchos casos, la descripción de la sintomatología, es suficiente para la identificación de algunos virus, las técnicas ELISA (Ensayo Inmunoabsorbente Ligado a una Enzima), RT-PCR (Transcripción Reversa-Reacción en Cadena de la Polimerasa) y PCR-MULTIPLEX son las más utilizadas para la detección e identificación de virus fitopatógenos debido a que son métodos más precisos, confiables y rápidos. Con estas técnicas se pueden detectar concentraciones muy bajas de virus, y además se pueden identificar varios virus simultáneamente en una misma muestra. La información contenida en este manuscrito será de beneficio para los técnicos y productores de esta hortaliza quienes podrán contar con los conocimientos y herramientas alternativas que les permitan prevenir las enfermedades causadas por virus en el cultivo de chile.

Palabras clave: Virus fitopatógenos, *Capsicum annuum*, ELISA, RT-PCR, PCR MULTIPLEX

Abstract

The objective of this work was to review the most important pepper affecting viruses in Mexico and to analyze the newest techniques used for their detection and identification. Diseases caused by plant viruses have an important impact in the economy of pepper because they reduce the yield up to 80%, due to these "organisms" have the ability to infect the plant locally and systemically. In systemic infections, the virus enters into the cell, replicates and moves to the phloem until colonize the whole plant. In Mexico there have been reported 13 virus genera that affect pepper, which cause a variety of symptoms, including dwarfing, mosaic, mottle, necrosis, yellowing, deformations, etc. Although in some cases the description of symptoms is enough to identify some viruses, the techniques ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), PCR MULTIPLEX and RT-PCR (Reverse Transcriptase-Polymerase Chain Reaction) are the most used to detect and completely identify plant pathogenic viruses due to the accuracy, reliability, and short time detection. These techniques can be used to detect threshold viral concentrations and identify simultaneously several viruses in the same sample. This information will provide to technicians and producers the tools to prevent viral diseases in pepper.

Keywords: Plant pathogenic viruses, *Capsicum annuum*, ELISA, RT-PCR, PCR MULTIPLEX.

¹ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria S/N Campus 1, Chihuahua, Chih., 31310.

² División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal km. 9; carretera Irapuato-Silao; A. P. 311; C.P. 36500; Irapuato, Gto., México.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: conzalez@uach.mx.

Introducción

Dentro de los países productores de chile a nivel mundial, México ocupa el tercer lugar con una producción de 2, 258, 562.44 t y un valor de la producción de más de 12 mil millones de pesos (SIAP-SAGARPA, 2007). Esta hortaliza es una de las más importantes por su amplio consumo, alta rentabilidad y su gran demanda de mano de obra. Sin embargo, las enfermedades ocasionadas por virus son causa de pérdidas en la producción de chile por la capacidad de infección que tienen estos organismos (Pérez y Rico, 2004).

Casi todas las enfermedades virales causan cierto grado de enanismo en la planta y una reducción total de la producción y generalmente las plantas infectadas tienen un ciclo vegetativo más corto. Los síntomas más comunes causados por los virus incluyen enanismo, mosaicos, moteados, necrosis, clorosis, deformaciones, etc. (Agrios, 2004). A nivel nacional se han reportado 13 especies de virus, incluyendo TEV (*Virus jaspeado del tabaco*), CMV (*Virus mosaico del pepino*), PVY (*Virus Y de la papa*), TMV (*Virus del mosaico del tabaco*), PMMoV (*Virus moteado atenuado del chile*), INSV (*Virus mancha necrótica del impaciente*), PepMV (*Virus moteado del chile*), AMV (*Virus del mosaico de la alfalfa*), TbRV (*Virus cascabel del tabaco*), TBSV (*Virus del achaparramiento arbustivo del tomate*), TRSV (*Virus mancha anular del tabaco*), ToRSV (*Virus mancha anular del tomate*) y TSWV (*Virus de la marchitez manchada del tomate*) (Pérez y Rico, 2004; Núñez *et al.*, 1996). En algunos casos los síntomas son suficientes para identificar ciertas especies de virus; sin embargo, para su identificación plena, es fundamental el uso de métodos más confiables y rápidos como ELISA, PCR y RT-PCR. La técnica de ELISA se ha convertido en una valiosa herramienta de detección, debido a que su sensibilidad permite detectar concentraciones muy bajas del patógeno y, además se pueden procesar muchas muestras al mismo tiempo. La técnica RT-PCR es muy confiable y tiene como función obtener millones de copias a partir de una mínima cantidad de ARN en pocas horas (Nelson y Cox, 2006). La virosis del chile representa un riesgo importante para la producción del cultivo en México, ya que

no sólo afecta el rendimiento del cultivo sino también la calidad del fruto. Además, la falta de conocimiento de la existencia de los virus que potencialmente pueden afectar al chile y de la existencia de las técnicas de detección e identificación de los virus, ha causado que las enfermedades virales sean recurrentes cada año. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue revisar los virus más importantes que afectan al chile en México y analizar las técnicas que recientemente se han utilizado para su detección, con el fin de que el productor de chile utilice esta información para prevenir o controlar las enfermedades de tipo viral en su cultivo.

Importancia del cultivo del chile en México. México es uno de los países más importantes en la producción de chile, aportando más de dos millones de toneladas anuales (SIAP-SAGARPA, 2007). Del total de la producción nacional, aproximadamente el 70% se exporta a EE.UU. Los principales estados productores de chile jalapeño son: Chihuahua (25%), Zacatecas (9.3%), San Luis Potosí (5.9%), Guanajuato (1.3%) y Sonora (1.2%), entre otros (SIAP-SAGARPA, 2007).

Importancia social del cultivo de chile. El cultivo de chile se encuentra distribuido en todo el mundo y de acuerdo al área sembrada y a los volúmenes de producción, que año tras año se incrementan, es actualmente una de las especias más importantes que condimenta los alimentos, se estima que en la población mundial, una de cada cuatro personas lo consume diariamente. El auge que tiene el chile en la alimentación, se debe en gran medida a la variedad de formas, usos y aromas que presenta. Para varios estados del país, el chile

es el producto agrícola más importante desde el punto de vista económico por el alto valor de su producción y el impacto social que representa, por la generación de empleos en el medio rural y la activación económica de otros sectores como son los transportistas, procesadores, proveedores de recursos y prestadores de servicios. En las regiones donde se produce este cultivo, se estima que son necesarios de 200 a 350 jornales por año para las labores del cultivo y cosecha (Pozo, 2004).

Enfermedades virales reportadas en el cultivo de chile en México. Las enfermedades en los cultivos hortícolas, constituyen uno de los factores de mayor riesgo de pérdidas en la producción, por lo que resulta importante protegerlos del ataque de las mismas. Para el control de cualquier enfermedad, es de gran importancia conocer al agente causal por medio de su identificación a través de las diversas técnicas que lo permitan, y así implementar diferentes medidas de prevención (Pérez y Rico, 2004). En los últimos años, las enfermedades causadas por virus han ocasionado fuertes pérdidas económicas en la producción de chile en México. Estas enfermedades se han incrementado en casi todas zonas productoras del país (Rico, 2002). La incidencia de las enfermedades virales varía de un año a otro y depende de las condiciones climáticas, el manejo del cultivo y el control químico, biológico y cultural de insectos vectores y malezas hospederas (Agrios, 2004). Los virus son considerados como el grupo de agentes patógenos más importantes y peligrosos en plantas (Agrios, 2004). Su característica principal es la gravedad del daño que ocasionan y la dificultad para combatirlos (Pérez y Rico, 2004; González y Delgadillo, 1989; Harris, 1994).

En México, los virus que se han encontrado en plantaciones de chile se ubican principalmente en cuatro familias: *Potyviridae* (TEV, PVY y PepMV), *Bromoviridae* (CMV y AMV), *Bunyviridae* (INSV y TSWV) y *Comoviridae* (TRSV y ToRSV). Por otro lado, TMV, PMMoV, TBSV y TbRV sólo se han

clasificado a nivel género. TMV y PMMoV pertenecen al género *Tobamovirus*; TBSV y TbRV a los géneros *Tombusvirus* y *Tobravirus*, respectivamente. El *Virus jaspeado del tabaco* (TEV) ha sido identificado como causante de pérdidas en el rendimiento de chile. A nivel mundial TEV es considerado importante, debido al daño que provoca en cultivos de interés económico, comprendidos principalmente dentro de la familia de las solanáceas. La enfermedad del “enchinamiento” ha convertido en improductivas muchas de las siembras de chile localizados en regiones tropicales y subtropicales de México (Pérez y Rico, 2004).

Desde mediados de los 80's, los geminivirus (con genoma de DNA) comenzaron a tener un papel importante, causando pérdidas en el rendimiento del cultivo de chile. Los geminivirus que se reportan son: “*Virus rizado amarillo del chile*”, “*Virus planta atigrada del chile*” (VPACH) y geminivirus *Virus huasteco del chile* (VHCh). Además se han encontrado en una sola planta varios tipos de virus como; VJT-VMP, VJT-VMP-VMAT. En Puebla, en 1979, se presentó una epifitía que afectó una superficie de 1,200 ha de chile. Esta enfermedad fue nombrada “*Virus planta atigrada del chile*”, por el color amarillo en ciertas áreas de las hojas. Las mermas en rendimiento fueron desde insignificantes hasta del 100%, según la etapa de desarrollo del cultivo cuando fue infectado. En Tamaulipas en 1986, se consignó una enfermedad viral llamada “*Virus rizado amarillo*” que afectó en un 90% el rendimiento del chile del tipo serrano y jalapeño y un 80% en 1997, tornándose así en un serio problema para este cultivo en el norte del país (Pérez *et al.*, 2004). En el estado de Guanajuato se muestrearon plantas de chile confirmándose la presencia de los virus PVY, TbRV y CMV, siendo el virus TbRV el más virulento (Pérez *et al.*, 2004).

Las enfermedades causadas por virus limitan de manera importante la producción. Un virus puede provocar o inducir diferentes síntomas en diferentes cultivares de la misma especie. Es común que una sola planta esté infectada por más de un virus. Las mezclas de

virus causan síntomas que son claramente diferentes a las causadas por cualquiera de los virus de forma individual. Por otra parte, los síntomas de enfermedades causadas por virus pueden ser similares a los síntomas de deficiencias nutricionales y los daños por herbicidas. Por lo tanto, es difícil de diagnosticar las enfermedades virales basándose solamente en la sintomatología. El control de los virus en plantas es particularmente difícil, debido a la falta de variedades resistentes y la carencia de productos químicos que controlen la infección viral. Además, la mayoría de los virus en plantas son transmitidos por insectos y por lo tanto están muy dispersos en la naturaleza. La combinación de comunidades de plantas naturales que albergan los virus y los insectos vectores de vuelo crea un patosistema complejo. Los intentos de controlar algunos de los virus que infectan al cultivo de chile a través de insectos vectores se complica aún más por la capacidad de los insectos de desarrollar resistencia a los insecticidas, como en el caso de la mosca blanca, o para transmitir virus tan rápidamente que los insecticidas no son eficaces como ocurre con los áfidos que transmiten los virus en forma no persistente. Además, la naturaleza esporádica de brotes de virus complica aún más el manejo de las enfermedades virales (Murphy *et al.*, 2003).

Descripción de los virus que afectan al cultivo de chile

Virus del jaspeado del tabaco (TEV). El TEV pertenece a la familia *Potyviridae* y al género *Potyvirus*; se observa como una varilla flexible al microscopio electrónico y causa la formación de inclusiones celulares granulosas y fibrosas vacuoladas extranucleares en tomate; la presencia de cristales intranucleares puede relacionarse con el virus del jaspeado del tabaco. Se han observado en chile, tomate y tabaco inclusiones del tipo citoplásmicas granulosas cerca del núcleo, casi de su mismo tamaño, e inclusiones nucleares de forma cuadrada, rectangular, además de cristales

triangulares en el citoplasma. La transmisión del TEV se da mecánicamente, por semilla y por áfidos de manera no persistente; se ha detectado en áfidos virulíferos de la especie *Myzus persicae* (Reddick, 2003). Se reporta la presencia del TEV en México, en el valle de Culiacán, norte de Sinaloa y Yucatán, aunque también es importante a nivel mundial, debido al daño que provoca en la producción de varios cultivos de interés económico, principalmente de la familia de las solanáceas. En México, este virus ha causado pérdidas en el rendimiento de chile, tomate y tabaco. Puede ocasionar necrosis en variedades de chile serrano y tomate. La sinuosidad de la nervadura central y el bandeado de las venas pueden asociarse con infecciones por el TEV en chile serrano (Pérez y Rico, 2004). Este virus provoca enchinamiento de las hojas, reducción del crecimiento, amarillamiento y un mosaico fuerte (coloración de tonos verde y amarillo). Los frutos se deforman y se tornan amarillentos, reduciendo la calidad comercial del producto (Reddick, 2003) (Figura 1A).

Virus del mosaico del pepino (CMV). Este virus pertenece a la familia *Bromoviridae* y al género *Cucumovirus*. El CMV es un virus con partículas de 25 nm con simetría isométrica. La cápside está compuesta de 180 subunidades, está formado por tres cadenas de ARN y dos subgenomas. Su transmisión se facilita a través de la savia y también por medio de áfidos, como el áfido común del durazno, en forma no persistente; se transmite mecánicamente por semilla en melón y calabaza y por áfidos como *Aphis gossypii* y *Myzus persicae* (Astier *et al.*, 2006). Este virus fue encontrado por primera vez en 1974 en México, afectando plantas de chile en la región sur de Tamaulipas, en el Bajío y en Culiacán, Sinaloa. Actualmente se encuentra reportado en los estados de Tamaulipas, Sonora, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Morelos, Guerrero, Guanajuato, Veracruz y Tabasco. Es muy común encontrar este virus asociado con otros, como el *Virus jaspeado del tabaco*, lo cual dificulta estimar los daños que causa por sí solo. Sin embargo, se

reporta un 83% de daño en el sur de Tamaulipas. En plantaciones de chile jalapeño en Jalisco se estima una incidencia del 90%. En 1985, en Veracruz y en Sinaloa se reportó hasta un 100% de daño (Pérez y Rico, 2004). En plantas de chile afectadas por este virus, se observa un mosaico que se inicia en la base de la hoja y una distorsión de la misma. El virus puede causar una defoliación, necrosis en puntos de crecimiento de plantas jóvenes y aborto de flor. En plantas en floración, causa necrosis o muerte de los tejidos nuevos provocando la caída de hojas jóvenes y de flores, con lo cual disminuye el número de frutos por planta. Generalmente, las ramillas y parte de los tallos presentan tejidos muertos (Pérez y Rico, 2004; Murphy, 2003) (Figura 1B).

Virus Y de la papa (PVY). El PVY pertenece a la familia *Potyviridae* y al género *Potyvirus*, se caracteriza porque es un virus filamentosos flexible de 12 nm x 680-900 nm. Pueden distinguirse muchos grupos de razas de acuerdo a la severidad de síntomas sistémicos en tabaco, papa, tomate y chile. Los grupos más importantes son: PVY^O, PVY^N y PVY^C. Las inclusiones en forma de molino se observan en tabaco y papa infectados sistémicamente con PVY; además induce inclusiones citoplasmáticas amorfas, granuladas y microcristales de forma cuadrada (Astier, *et al.*, 2006). El virus se transmite a través de tubérculos infectados de papa para semilla y por áfidos en forma no persistente; *Myzus persicae* es la especie más eficiente en muchas áreas y estaciones (Arteaga y Ponz, 2003; Astier, *et al.*, 2006). Se ha reportado al PVY en México particularmente en Puebla, Toluca, Coahuila y Nuevo León. El PVY es considerado uno de los virus más dañinos en la papa, aunque también afecta a las plantas de chile, tomate y tabaco, causando pérdidas considerables en estos cultivos (Pérez y Rico, 2004). Los síntomas que produce varían, desde un moteado moderado a severo en la mayoría de sus hospederos, hasta un rayado de la hoja que es el resultado de las lesiones necróticas que se producen a lo largo de las nervaduras, en el

envés de los folíolos de algunas variedades de papa. Cuando el *Virus Y de la papa* aparece en mezcla con el *Virus X de la papa*, produce un mosaico rugoso, en el que las plantas se ven enanas y los tubérculos son de menor tamaño (Hull, 2002; Arteaga y Ponz, 2003; Astier, *et al.*, 2006) (Figura 1C).

Virus del mosaico del tabaco (TMV). Este virus pertenece al género *Tobamovirus* que aún no es ubicado en familia; con una partícula de una cadena de 300 nm x 18 nm con simetría helicoidal. La subunidad de la cápside es de 18 KDa, se ha observado en *Nicotiana tabacum* var. *xanthi*. En Chile y tomate infectados con el TMV se observan inclusiones citoplásmicas nucleares cuadradas y cristales hexagonales en el citoplasma (Astier *et al.*, 2006). El TMV es muy infeccioso, se transmite por contacto en operaciones de trasplante o por el roce entre plantas enfermas y sanas. El virus se mantiene en tabaco seco, por lo que se recomienda que los trabajadores no fumen tabaco y éstos deben lavarse las manos al manipular las plantas. El virus es transmitido por áfidos y su transmisión por semilla ha sido reportado en Veracruz (Pérez y Rico, 2004; Himmel, 2003; Astier *et al.*, 2006). En México se ha reportado su presencia en el valle de Culiacán, Sinaloa y en Yurécuaro y Tanoato, Michoacán. Las hojas afectadas por el TMV muestran parches amarillos o verdes. Las áreas amarillas se secan y las plantas desarrollan y producen poco. Las hojas y frutos afectados se distorsionan y presentan un mosaico amarillo pálido (Figura 1D). El TMV causa lesiones locales y mosaico sistémico en *Nicotiana tabacum* var. *xanthi*. (Himmel, 2003; Astier *et al.*, 2006).

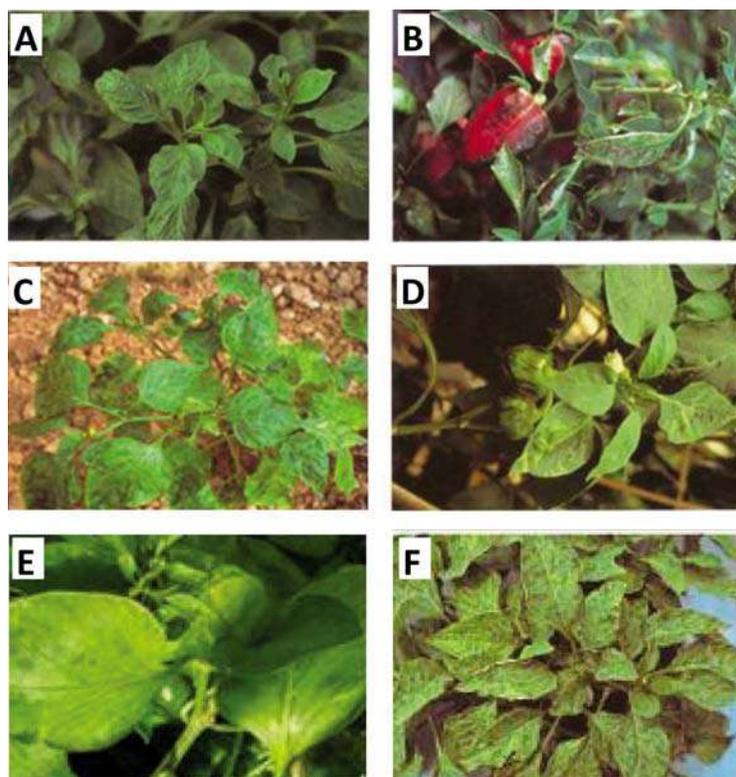
Virus moteado atenuado del chile (PMMoV). El PMMoV es miembro del género *Tobamovirus* que aún no es ubicado en familia. Los viriones son rígidos, con partículas en forma de bastón, aproximadamente de 312 x 18 nm, son muy estables y pueden persistir en el ambiente por periodos largos de tiempo. El virus típicamente induce capas anguladas en el citoplasma en plantas de Chile infectadas. No

se conoce un vector biológico para el PMMoV. La planta es infectada por desechos en el suelo y las semillas contaminadas son comúnmente el origen de la infección primaria en el campo. El virus puede permanecer por meses en el suelo en hojas infectadas, tallos y raíces (Green, 2003; Hull, 2002). El *Virus moteado atenuado del chile* se ha manifestado en todo el mundo en plantas de chile. El PMMoV reduce drásticamente la producción de fruto. Brotes severos de este virus se han reportado en México y España en campo e invernaderos. La mezcla de infecciones del PMMoV con otro *Tobamovirus*, como el TMV y el ToMV es muy común en campo. El PMMoV generalmente causa síntomas leves, semejantes al moteado y mosaico verde o amarillo, en hojas de plantas de chile. Los frutos son pequeños, con moteado y deformados, con hundimiento o áreas necróticas o ambos. Los síntomas varían de

acuerdo a la cepa viral del cultivo de chile y el tiempo de infección (Green, 2003) (Figura 1E).

Virus moteado del chile (PepMoV). El PMMoV es miembro del género *Potyvirus* de la familia *Potyviridae*. Las partículas de estos virus son filamentosas de aproximadamente 737 nm de longitud. El genoma del PMMoV consiste de una molécula de una hebra de RNA de 9,640 nucleótidos de largo (Hull, 2002). El PMMoV es transmitido de manera no persistente por ninfas y adultos de áfidos (*Myzus persicae*). Otras especies de áfidos sirven de vectores pero *M. persicae* es considerado el más eficiente. La transmisión por semilla de PMMoV es frecuente en el cultivo de chile y maleza de la familia de las solanáceas. La mezcla de infecciones de PMMoV, PVY y TEV ocurre frecuentemente en el campo (Murphy y Zitter, 2003; Hull, 2002). El *Virus moteado del chile* se ha encontrado al sur de Estados Unidos, California, México y Centro

Figura 1. Principales síntomas ocasionados por los virus fitopatógenos: *Virus jaspeado del tabaco* (TEV) (A), *Virus del mosaico del pepino* (CMV) (B), *Virus Y de la papa* (PVY) (C), *Virus del mosaico del tabaco* (TMV) (D), *Virus moteado atenuado del chile* (PMMoV) (E), *Virus moteado del chile* (PepMoV) (F).



América. En un ambiente controlado, semejante a un invernadero este agente infeccioso puede desarrollar lesiones cloróticas en hojas de algunas variedades de chile. Las hojas jóvenes inoculadas inicialmente desarrollan un pronunciado a moderado moteado. El moteado ocasiona que las hojas jóvenes infectadas tiendan a ser pequeñas en comparación con hojas de plantas sanas y son frágiles. En *Capsicum frutescens* "Tabasco", el PMMoV induce lesiones necróticas locales en hojas inoculadas. La infección en etapas tempranas del desarrollo de las plantas puede impedir el crecimiento de las hojas (Murphy y Zitter, 2003) (Figura 1F).

Virus del mosaico de la alfalfa (AMV). El AMV es miembro del género *Alfamovirus*, de la familia *Bromoviridae*. El genoma del AMV consta de tres componentes distintos de ARN de cadena simple junto con un componente subgenómico de ARN, un ARN mensajero, que codifica la proteína de la cápside viral. El virión completo consta de cuatro partículas baciliformes de 18 nm y 30-56 nm de largo (Astier *et al.*, 2006). El AMV es transmitido de manera no persistente por lo menos en 14 especies de áfidos, incluido el áfido verde del durazno (*Myzus persicae*), el áfido del guisante o chícharo (*Acyrtosiphon pisum*), y el áfido azul de la alfalfa (*A. kondoi*). Los vectores pueden adquirir el virus después de pocos minutos de alimentarse de plantas infectadas y pueden inmediatamente transmitirlo a plantas sanas. La transmisión al cultivo de chile es una función de la presión (fuerza) de población causada por áfidos transitorios más que por el número de áfidos colonizadores (Creamer, 2003). El AMV se produce en todo el mundo y afecta a una amplia gama de cultivos y malezas; es causa de importantes pérdidas en los cultivos de chile en países como Bulgaria, Hungría, Yugoslavia y México. La infección se produce cada año en el oeste de Estados Unidos, pero la enfermedad no suele ser económicamente importante, salvo en los chiles cultivados cerca de los campos de alfalfa. El AMV puede causar pérdidas en el

rendimiento de hasta un 65% (Creamer, 2003). Los síntomas típicos en plantas infectadas de chile con el AMV son mosaico amarillo brillante en hojas o manchas blancas en un patrón de mosaico en las hojas. Las plantas infectadas cuando son jóvenes se atrofian y producen frutos deformes (Astier *et al.*, 2006; Creamer, 2003) (Figura 2A).

Virus de la mancha anular del tabaco (TRSV). Este virus pertenece a la familia *Comoviridae* y al género *Nepovirus*. El TRSV consta de dos partículas de 28-30 nm con simetría isométrica. La subunidad de la cápside es de 57 KDa. El TRSV es transmitido por los nematodos *Longidorus* spp. y *Xiphinema* spp. No se ha encontrado transmisión por semilla de chile (Hull, 2002; Astier *et al.*, 2006). Se ha detectado en plantaciones comerciales de chile en Ciudad Delicias, Chihuahua y Yucatán (Pérez y Rico, 2004). El síntoma mayor en TRSV, se presenta en forma de anillos concéntricos y líneas irregulares en las hojas y algunas veces en el fruto. Las líneas pueden consistir de tejidos amarillosos o puede ser debido a la muerte de las capas superficiales de células (Hull, 2002; Pérez y Rico, 2004) (Figura 2B).

Virus del achaparramiento arbustivo del tomate (TBSV). El TBSV es miembro del género *Tombusvirus* que aún no es ubicado en familia. El TBSV tiene un molécula de una cadena de ARN (4.7 Kb). Las otras proteínas, incluyendo la subunidad de la cápside, son expresados en un ARN subgenómico (Astier *et al.*, 2006). El virus moteado del chile se ha encontrado en Estados Unidos y México (Hull, 2002). En las hojas apicales de tomate se observa un fuerte amarillo a veces con necrosis que pueden llegar hasta el pecíolo y tallo; otras veces las hojas aparecen de un fuerte color morado y en los frutos se observa fuertes necrosis con zonas hundidas, manchas y deformaciones (Figura 2C). Se transmite por suelo y agua, por contacto, de forma mecánica, por propagación vegetativa y algunas veces por medio del hongo *Olpidium brassicae* (Hull, 2002; Astier *et al.*, 2006).

Virus del cascabel del tabaco (TbRV). Este virus pertenece al género *Tobravirus* que aún no es ubicado en familia, el cual consta de un par de partículas con dimensiones de 22 x 180-215 y 46-115 nm, con simetría helicoidal; es transmitido por varias especies de nematodos de los géneros *Trichodorus* y *Paratrichodorus* (Hull, 2002; Astier *et al.*, 2006). El virus del cascabel del tabaco existe en muchas partes del mundo (Pérez y Rico, 2004). Afecta a muchas plantas hospederas y produce síntomas que van desde el enrollamiento o plegamiento de las hojas, colapso de las nervaduras y necrosis sistémica en el tabaco y moteado y mancha anular suberosa del tallo en la papa, hasta las manchas anular y amarilla del chile, remolacha azucarera y otras plantas (Pérez y Rico, 2004; Hull, 2002) (Figura 2D).

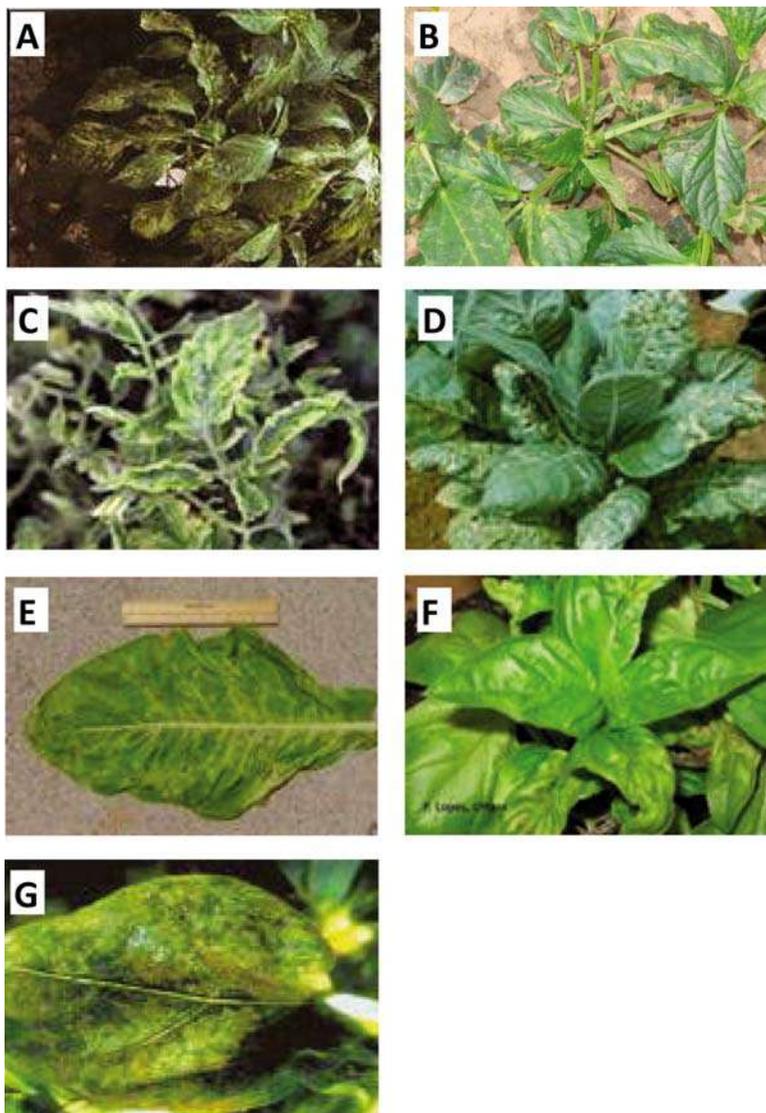
Virus de la mancha anular del tomate (ToRSV). Este virus pertenece a la familia *Comoviridae* y al género *Nepovirus*. El ToRSV es un virus poliédrico de 28 nm de diámetro, que se transmite por el nematodo *Xiphinema*. En algunos hospedantes, este virus también se transmite a través de las semillas (Pérez y Rico, 2004; Hull, 2002). La *Mancha anular del tomate* se encuentra ampliamente distribuida en Norteamérica y se ha detectado también en otras partes del mundo. No es de menor importancia para la producción de tomate, y además, en su caso, infecta a muchas otras plantas hospedantes y ocasiona pérdidas importantes en muchos hospedantes perennes (Pérez y Rico, 2004). Este virus produce sobre todo mosaicos y manchas anulares, y en ocasiones se acompaña de necrosis sistémica; sin embargo, en plantas hospedantes perennes, a menudo no causa síntomas característicos en el follaje, si no afecta la base de la planta (Pérez y Rico, 2004; Hull, 2002) (Figura 2E).

Virus mancha necrótica del impaciente (INSV). El virus es miembro del género *Tospovirus* de la familia *Bunyviridae*. Su forma general es irregular, esférica y la

nucleocápside tiene simetría helicoidal. El virus es transmitido por material vegetativo contaminado y determinadas especies de trips. El vector más importante es el trips occidental (*Frankliniella occidentalis*) en forma persistente, el cual es capaz de permanecer virulífero mucho tiempo. Este vector también radica en malezas (Robert, 2009; Astier *et al.*, 2006). El *Virus mancha necrótica del impaciente* (INSV) es un problema histórico en México, Estados Unidos y Hawái (Astier *et al.*, 2006). El virus se ha observado en los cultivos de chile y tomate, también en la floricultura. Los síntomas en chile se presentan como distorsión en las hojas y en el fruto se desarrollan anillos necróticos. En el tomate se presenta necrosis en las hojas y la planta puede llegar a marchitarse totalmente. En el fruto ocasiona manchas necróticas circulares (Robert, 2009; Astier *et al.*, 2006) (Figura 2F).

Virus de la marchitez manchada del tomate (TSWV). Este virus pertenece a la familia *Bunyviridae* y al género *Tospovirus*; La partícula es globular pleomórfica de 80-100 nm. El virus contiene tres partículas ribonucleoproteicas (Astier *et al.*, 2006). En tomate se han observado inclusiones citoplásmicas amorfas y esféricas muy cerca del núcleo o adyacentes a este; las inclusiones de mayor tamaño son vacuoladas. El virus de la marchitez manchada del tomate es transmitido por trips en forma persistente y es adquirido únicamente en estado ninfal y no por adultos; sin embargo, los adultos lo transmiten. Las especies más importantes son: *Trips tabaci*, *Frankliniella fusca*, *F. schultzei* y *F. occidentalis*. El virus también se transmite mecánicamente y por semilla (Pérez y Rico, 2004; Adkins, 2003). Este virus se ha manifestado en diversas partes del mundo, y en México, se señala su presencia en el norte de Sinaloa, Villa Guerrero, Morelos; en Yurécuaro y Tanoato, Michoacán.

Figura 2. Principales síntomas ocasionados por los virus fitopatógenos: *Virus del mosaico de la alfalfa* (AMV) (A), *Virus de la mancha anular del tabaco* (TRSV) (B), *Virus del achaparramiento arbustivo del tomate* (TBSV) (C), *Virus cascabel del tabaco* (TbRV) (D), *Virus de la mancha anular del tomate* (ToRSV) (E), *Virus mancha necrótica del impaciente* (INSV) (F), *Virus de la marchitez manchada del tomate* (TSWV) (G).



Desde hace varios años el TSWV se identificó en la región de Villa Guerrero, causando pérdidas superiores al 60%. En Sinaloa, se encuentra una variante muy destructiva que provoca el tizón de las puntas, la cual puede causar más del 50% de pérdidas en los rendimientos de tomate y de chile (Pérez y Rico, 2004). Los síntomas son una necrosis en los folíolos de las hojas. En tallo y

pecíolo se presentan manchas o líneas similares de color café oscuro. Las plantas infectadas presentan escaso desarrollo y hojas marchitas; hay curvamiento de los pecíolos hacia abajo y muerte descendente de estos. La característica más importante es que los frutos presentan unos círculos necróticos (Pérez y Rico, 2004; Adkins, 2003) (Figura 2G).

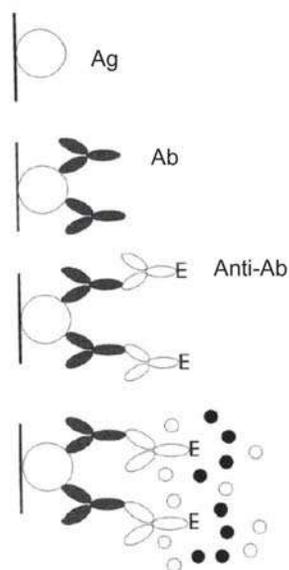
Técnicas de detección e identificación de virus fitopatógenos

Dentro de las técnicas más comunes para la identificación de virus se encuentran la identificación por síntomas, pruebas fisiológicas en plantas indicadoras, pruebas serológicas y de biología molecular. Sin embargo, la identificación de los virus por sintomatología no es confiable, debido a que dichos síntomas se pueden confundir con desórdenes nutricionales o por daños causados por herbicidas. Por otro lado, las técnicas más eficientes y confiables son las serológicas como ELISA y las de biología molecular como RT-PCR y PCR-MULTIPLEX por su alta sensibilidad, las cuales se describen a detalle en los siguientes apartados.

Ensayo Inmunoabsorbente Ligado a una Enzima (ELISA). La prueba de ELISA es un método muy confiable y rápido para la detección de virus fitopatógenos, ya que hace posible la detección de cantidades muy pequeñas de estos agentes en órganos de plantas enfermas (Cruz y Frías, 1997). La optimización y automatización de la técnica ELISA, se ha convertido en una valiosa herramienta de detección y diagnóstico de enfermedades causadas por virus (Clark y Adams, 1977), ya que ha permitido la elaboración de estrategias de manejo integrado de enfermedades, mejorando la calidad y sanidad de los cultivos, así como su competitividad y rentabilidad. La importancia del uso de ELISA radica en su sensibilidad, que permite detectar la presencia de patógenos importantes en especies o variedades de plantas que sean tolerantes o resistentes, aún cuando no muestren síntomas (Ezequiel *et al.*, 2006). La sensibilización de ELISA es superior a otras pruebas serológicas, por lo que ha sido utilizada ampliamente para la detección de diversos patógenos en plantas (Cruz y Frías, 1997). Para una mayor precisión, se han desarrollado algunas variantes de ELISA que permiten desde la cuantificación de un antígeno en solución hasta la detección de un anticuerpo en una solución. A continuación se describen los tipos de ELISA más comunes (Reina, 2003).

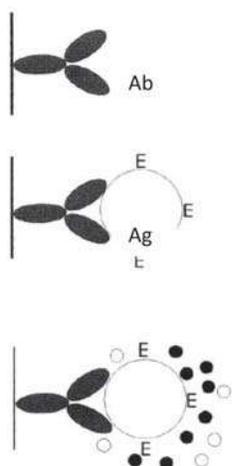
ELISA indirecto. Este método es ampliamente usado para la detección de especies de virus específicos. La especificidad de la prueba está dirigida por el antígeno de la fase sólida, el cual puede ser de alta pureza y bastante caracterizado o relativamente crudo y no caracterizado (Roitt *et al.*, 1993), consiste en la adsorción del antígeno a una placa de poliestireno seguida de la adición del anticuerpo específico, el cual reacciona con el antígeno adheridos a la placa, enseguida se agrega el anticuerpo secundario conjugado a la enzima. Una vez formada la secuencia biológica de antígeno más anticuerpo, más anticuerpo secundario ligado a una enzima, se adiciona el sustrato, el cual es hidrolizado por la enzima dando lugar a un cambio de color de la solución y esto permite determinar los resultados visualmente y cuantificarlos espectrofotométricamente por medio de un lector de microplacas (Figura 3) (Providencia y Fernández, 2004).

Figura 3. ELISA indirecto. Los anticuerpos (Ab) de una especie en particular reaccionan con el antígeno (Ag) unido a la fase sólida. Los anticuerpos unidos son detectados por la adición de un antisuero específico (Anti-Ab) marcado con enzima (E). Después de un período de incubación y lavado, el sustrato (O) se añade y permite el cambio o desarrollo del color (Roitt *et al.*, 1993).



ELISA directo. Esta variante de ELISA consiste en la adsorción de anticuerpos específicos a una placa de poliestireno seguida de la adición de los antígenos, los cuales reaccionan con los anticuerpos adheridos a la placa. Enseguida se agregan anticuerpos ligados con enzimas que se adhieren a los patógenos capturados en la placa. Una vez formada la secuencia biológica de anticuerpo más antígenos, más anticuerpo ligado a una enzima, se adiciona el sustrato, el cual es hidrolizado por la enzima dando lugar a un cambio de color de la solución y esto permite determinar los resultados visualmente y cuantificarlos espectrofotométricamente por medio de un lector de microplacas (Cultek, 2006). Una desventaja de esta estrategia es que puede generar un diagnóstico deficiente debido a que los antígenos raramente están marcados y por ello pueden ser sobre o subestimados (Figura 4) (Roitt *et al.*, 1993).

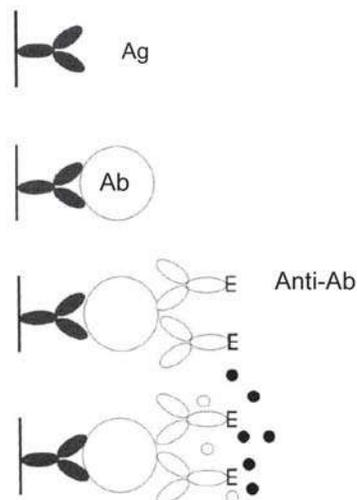
Figura 4. Directo-antígeno marcado. El antígeno (Ag) marcado con la enzima (E), pueden ser capturados con anticuerpos (Ab) unidos a la fase sólida. Después de un período de incubación y lavado, el sustrato (O) se añade y permite el cambio o desarrollo del color (Roitt *et al.*, 1993).



DAS-ELISA. Esta técnica se le conoce como ELISA tipo sándwich y es un tipo de ELISA directo que se emplea más comúnmente para la detección e identificación de virus fitopatógenos (Cruz y Frías, 1997). Este método se ha utilizado

con mucho éxito para la detección de virus en ajo (Pérez *et al.*, 2006) y chile (Pérez *et al.*, 2004) en el estado de Guanajuato. La técnica de DAS-ELISA consiste en la adsorción de anticuerpos específicos a una placa de poliestireno seguida de la adición de los antígenos, los cuales reaccionan con los anticuerpos adheridos a la placa. Para formar el sándwich se agregan nuevamente anticuerpos ligados con enzimas que se adhieren a los antígenos capturados en la placa. Una vez formada la secuencia biológica de anticuerpo, más antígenos, más anticuerpo ligado a una enzima, se adiciona el sustrato, el cual es hidrolizado por la enzima dando lugar a un cambio de color de la solución y esto permite determinar los resultados visualmente y cuantificarlos espectrofotométricamente por medio de un lector de microplacas (Figura 5) (Cruz y Frías, 1997). Se debe tener en cuenta que los preparativos para determinar el antígeno no se pueden conectar directamente a microplacas, ya que están en baja concentración o que se encuentran en altas concentraciones de contaminación de proteínas (Roitt *et al.*, 1993).

Figura 5. ELISA sándwich-directo. Este sistema aprovecha los anticuerpos (Ab) unidos a la fase sólida a la captura del antígeno (Ag). Esto es detectado utilizando una enzima (E) marcada con el suero específico (Anti-Ab) para el antígeno. El anticuerpo se marca con la detección de la enzima. Después de un período de incubación y lavado, el sustrato (O) se añade y permite el cambio o desarrollo del color (Roitt *et al.*, 1993).



Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). Con la técnica de PCR se obtiene un gran número de copias a partir de un fragmento de ADN. Esta técnica se emplea para la identificación de virus, bacterias, personas, etc. Esta técnica se fundamenta en la propiedad de las ADN polimerasas para replicar hebras de ADN. Se emplean ciclos de altas y bajas temperaturas alternadas para separar las hebras de ADN recién formadas entre sí, tras cada fase de replicación. Después, se unen a polimerasas para que vuelvan a duplicarse. Las ADN polimerasas termoestables utilizadas, son extraídas de microorganismos adaptados a vivir altas temperaturas. El proceso de la PCR está automatizado mediante un termociclador, el cual permite calentar y enfriar los tubos de reacción para cada etapa. (Klug y Cummings, 1999; Madigan *et al.*, 2008). Los componentes de esta técnica son: (i) desoxinucleótidos trifosfato (dNTPs), (ii) sustrato para polimerizar nuevo ADN, (iii) dos oligos, complementarios a una de las dos hebras del ADN que son secuencias cortas de 6 a 40 nucleótidos que son reconocidos por la polimerasa permitiendo iniciar la reacción, (iv) los iones divalentes de magnesio como $MgCl_2$ o monovalentes como el potasio, (v) una solución amortiguadora que mantiene el pH en rangos adecuados para el funcionamiento óptimo de la polimerasa, (vi) la Taq polimerasa, (vii) el fragmento de ADN que se va a amplificar y (viii) el termociclador. El proceso de PCR generalmente consiste en una serie de 20 a 35 ciclos conformados por varias etapas (Campbell y Farrell, 2003; Walter y Gingold, 1997).

En la etapa de desnaturalización se separan las hebras del fragmento de ADN. Este paso puede realizarse con un incremento en la temperatura, donde comúnmente es a $95^{\circ}C$; sin embargo, este valor depende de la proporción de G+C y del largo de la cadena de ADN. Otros métodos utilizan sales minerales como agentes químicos para realizar la desnaturalización.

En la etapa de alineamiento, los oligos se unen a su secuencia complementaria en el ADN molde. Para ello es necesario bajar la

temperatura a $50-70^{\circ}C$ durante 20-40 segundos, permitiendo así el alineamiento. Los puentes de hidrógeno estables entre las cadenas de ADN (unión ADN-ADN) sólo se forman cuando la secuencia del oligo es muy similar a la secuencia del ADN molde. Los oligos actuarán como límites de la región de la molécula que va a ser amplificada.

En la etapa de elongación de la cadena, la ADN polimerasa toma de molde el fragmento de ADN para sintetizar la cadena complementaria, partiendo del oligo para la síntesis del nuevo ADN. Para lo anterior, la polimerasa va añadiendo los dNTP's complementarios en dirección $5' - 3'$, uniendo el grupo $5'$ - fosfato de los dNTPs con el grupo $3'$ - hidroxilo de la hebra del ADN creciente. La temperatura y el tiempo para este paso depende de la ADN polimerasa empleada y del tamaño del fragmento a amplificar.

La etapa de terminación, se lleva a cabo a una temperatura de $70-74^{\circ}C$ durante 5-15 minutos en el último ciclo de PCR para asegurar que cualquier ADN de cadena simple restante sea totalmente amplificada. Finalmente, la etapa de conservación se lleva a cabo de 4 a $15^{\circ}C$ durante un tiempo indefinido para conservar la reacción a corto plazo.

Para verificar que la PCR ha generado el fragmento de ADN deseado, se emplean técnicas de electroforesis que separan los fragmentos de ADN generados de acuerdo a su carga, longitud y tamaño. La electroforesis se realiza en geles de agarosa para fragmentos grandes y en acrilamida para fragmentos pequeños. Existen variantes de PCR, incluyendo PCR anidada, PCR *in situ*, PCR multiplex, RT-PCR y PCR tiempo real (Q-PCR) (Campbell y Farrell, 2003; Walter y Gingold, 1997). Las variantes de PCR más utilizadas para la detección e identificación de virus fitopatógenos son PCR multiplex y RT-PCR.

Transcripción Reversa-Reacción en Cadena de la Polimerasa (RT-PCR). La RT-PCR es una técnica que en la biología molecular se utiliza ampliamente para identificar virus de ARN. Para su aplicación se necesita la transcriptasa reversa

para realizar la conversión del ARN a ADNc. A partir de una mínima cantidad de ARN se puede obtener millones de copias en pocas horas. La transcriptasa reversa es una enzima de tipo ADN-polimerasa que tiene como función sintetizar ADNc de cadena sencilla utilizando como molde ARN monocatenario. Esta enzima se encuentra presente en los retrovirus. Una forma sencilla de síntesis de ADNc de cadena sencilla por medio de la transcriptasa reversa, es partir de un oligo cola de poli-T que establece bases complementarias con la cola de poli-A del ARN transcrito. El híbrido puede separarse mediante ribonucleasas, y con la acción de una ADN-polimerasa y un nuevo oligo, se completa la hebra de ADN para formar la doble hebra. El virus de RNA contiene en el interior una DNA polimerasa dependiente de RNA denominada transcriptasa reversa. Durante la infección el genoma de RNA monohebra y la enzima penetran en la célula del hospedero. Esta enzima cataliza primero la síntesis de una cadena de DNAc del RNA vírico. A continuación degrada la cadena de RNA del híbrido ARN-ADN vírico y lo reemplaza por DNA. La integración es catalizada por una integrasa codificada por el virus. La transcriptasa inversa requiere un oligo para iniciar la síntesis de DNA. El cebador es un tARN incluido dentro de la partícula vírica, obtenido durante una infección anterior. Este tARN se une en su extremo 3' con una secuencia complementaria del RNA vírico. La nueva cadena de DNA se sintetiza en dirección 5'a 3' como en todas las reacciones de las ARN Y ADN polimerasas (Nelson y Cox, 2006).

PCR-MULTIPLEX. Para realizar esta prueba es necesario llevar a cabo la técnica Transcriptasa Reversa (TR) en virus con ARN. El PCR-Multiplex es un método en la cual se amplifica más de una secuencia en una misma reacción. Emplea dos o más pares de oligos en un único tubo con el fin de amplificar simultáneamente múltiples segmentos de ADN. Consiste en combinar en una única reacción los pares de oligos de los sistemas que se requieren amplificar simultáneamente, junto con el resto de los reactivos de la reacción en cantidades suficientes. Para evitar contaminación el área de trabajo debe ser en un lugar aislado. El riesgo de

contaminación cruzada con productos de PCR amplificados anteriormente es alto. Este problema se vuelve aún más grave cuando se clonan los productos. Comparado con la PCR simple, la PCR-multiplex tiene una serie de ventajas. Consiste en obtener información de varios loci (posición fija sobre un cromosoma, un ejemplo es la posición de un gen) en una sola reacción, esto se logra mediante la amplificación de un número casi ilimitado de fragmentos de la misma cantidad de ADN molde que se utiliza para un único producto de PCR estándar. La especificidad de esta técnica es proporcionada por los oligos. Esta prueba reduce considerablemente la aparición de falsos positivos o contaminación. El éxito de la amplificación depende fundamentalmente de la sensibilidad del oligo, la especificidad y homogeneidad de la temperatura. La longitud máxima de los fragmentos amplificados por los oligos está limitada por el ADN molde. La ADN polimerasa utilizada en esta prueba no debe contener ADN para evitar la amplificación inespecífica. Algunas de las polimerasas utilizadas que producen altos rendimientos en condiciones desfavorables son Gold Taq, Platinum Taq y Accuprime Taq. Recientemente, esta técnica se ha estado estandarizando para algunos géneros de virus de plantas; se ha usado ampliamente para identificar el PVY y CMV. En el caso de PVY se ha utilizado para separar las variantes PVY^{N:O}, PVY^{NTN}, PVY^N y PVY^O en una misma reacción (Lorenzen *et al.*, 2006).

Conclusiones

En este documento se describe la importancia de los virus de RNA que afectan el cultivo de chile en México y otros países. Asimismo, se analizan las técnicas serológicas y de biología molecular que han sido ampliamente utilizadas en la identificación de agentes de tipo viral que afectan al cultivo del chile. La técnica ELISA es una de las pruebas serológicas más utilizadas por presentar una amplia especificidad y confiabilidad en el diagnóstico de enfermedades virales. Por otro lado, RT-PCR y PCR-MULTIPLEX son los métodos de biología molecular más recientes

en la identificación de virus. RT-PCR se utiliza para identificar mayormente virus de ARN, mientras que PCR-MULTIPLEX se emplea para la identificación de virus tanto de ADN como de ARN. La ventaja que tiene este método con respecto al de RT-PCR es que se puede utilizar para identificar virus a nivel de serotipo como se ha demostrado en los virus PVY y CMV. Dicha información será de utilidad para los técnicos de campo y de laboratorio al conocer los principios y aplicaciones de las técnicas descritas, así también será de utilidad a los productores de chile para solicitar un diagnóstico más completo a fin de identificar de manera precisa los agentes virales y así prevenir las enfermedades virales antes de que representen un riesgo para el cultivo.

Literatura citada

- ADKINS, S. (2003). Tomato spotted wilt virus. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. pp 39-40.
- AGRIOS, G. N. (2005). Plant pathology. Fifth edition. Elsevier Academic Press. San Diego, CA. 922 p.
- ARTEAGA, L. M., Ponz, F. (2003). Virus Y de la papa. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. pp 35-36.
- ASTIER, S., Albouy, J., Maury, Y., Robaglia, C., Lecoq, H. (2006). Principles of plant virology; genome pathogenesis, virus ecology. First edition. Science Publishers. 472 p.
- BERG, J. M., Tymoczko, J. L., Stryer, L. T. (2002). Biochemistry. Fifth edition. W. H. Freeman and Company, New York. 894 p.
- CAMPBELL, M. K., Farrell, S. O. (2003). Biochemistry. Fourth edition. Thomson. 725 p.
- CLARK, M.F., Adams, A. N. (1977). Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. *General Virology*. 34: 475-483.
- CREAMER, R. (2003). *Alfalfa mosaic virus*. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. pp 24-26.
- CRUZ, F. M. y Frías, T. G. A. (1997). Guía ilustrada de la prueba de inmunoabsorción con enzimas ligadas para la detección de fitopatógenos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Subsecretaría de Agricultura y Ganadería, Comisión Nacional de Sanidad Agropecuaria, Dirección General de Sanidad Vegetal, Centro Nacional de Referencia de Diagnóstico Fitosanitario. México, DF. 23 p.
- CULTEK. (2006). Fundamentos y tipos de ELISAS. Protocolo y técnicas. URL: <http://www.cultek.com>.
- DE LA PROVIDENCIA, L. y Fernández, F. (2004). Factibilidad del uso de una ELISA indirecto para la detección de *Glomus clarum*. Cultivos tropicales. Vol 25. No 2. pp 19-22.
- GONZÁLEZ, L. R. y Delgadillo, S. F. (1989). Inclusiones producidas por algunos virus fitopatógenos. Memorias del XIV congreso nacional de la sociedad mexicana de fitopatología. Jalapa, Veracruz, México. Resumen, p 89.
- GREEN, S. K. (2003). *Pepper mild mottle virus*. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. pp 32-33.
- GREEN, S. K., Hikias, Y., Lesemann, D. E., Vetter, H. J. (1999). Characterization of *chilli vein mottle virus* as a potyvirus distinct from pepper vein mottle virus. *Petria* 9(3):332.
- HARRIS, M. (1994). Enfermedades virales de la calabacita. en: Katy O Keelfe Johns Smark, Ana Reho, y Luis Ringer (eds). Productores de hortalizas. Willoughby, Ohio, EE.UU. pp 42-43, 70.
- HIMMEL, P. T. (2003). *Tobacco mosaic virus*. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. pp 38-39.
- HULL, R. (2002). *Matthews plant virology*. Fourth edition. Academic Press. San Diego, California. 1001 p.
- INIFAP. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. (2008). URL: <http://inifap.mx>.
- KLEIN, M. (1992). Role of circulerifer/neoaliturus in the transmission of plant pathogens. in: Advances in disease vector research. K. F. Harris. *Springer-Verlag*, New York. Vol. 9. pp 152-193.
- KLUG S.W., Cummings R.M. (1999). Conceptos de genética. Quinta edición. Prentice Hall. 814 p.
- LORENZEN, J. H., Piche, L. M., Gudmestad, N. C., Meacham, T., Shiel, P. (2006). A multiplex PCR assay to characterize *Potato virus Y* isolates and identify strain mixtures. *Plant Disease*. 90:935-940.
- MURPHY, J. F. (2003). *Cucumber mosaic virus*. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. pp 29-31.
- MURPHY, J. F., Warren, C. E. (2003). Diseases caused by viruses. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. pp 23-24.
- MURPHY, J. F., Zitter, T.A. (2003). *Pepper mottle virus*. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. pp 33-34.
- NELSON, L.D., Cox M.C. (2006). *Lehninger principios de bioquímica*. Cuarta edición. Omega. 1119 p.
- NÚÑEZ, F.; Ortega, G. R, y Costa, J. (1996). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Editorial Mundi Prensa. España. 607 p.
- PÉREZ, M. L., y Rico, J. E. (2004). Virus fitopatógenos en cultivos hortícolas de importancia económica en el estado de Guanajuato. Primera edición. Universidad de Guanajuato. p 143.
- PÉREZ, M. L.; y Rico, J. E. (2006). Identificación de virus fitopatógenos en ajo (*Allium sativum* L.), en el Estado de Guanajuato, México. Universidad de Guanajuato, 25:11-17.
- POZO, C. O. 2004. Importancia económico-social y cultural del chile. 1-8 pp. En: curso-taller producción y manejo integral del cultivo del chile. Folleto técnico No. 2. CONAPROCH. Tampico, Tamaulipas, México. 68 p.
- REDDICK, B. B. (2003). *Tobacco etch virus*. Compendium of pepper diseases. APS PRESS. p 38.
- REINA, M. (2003). Métodos en biología celular. Material docente diseñado y elaborado por Manuel Reina. URL: <http://www.ub.es/biocel/wbc/tecnicas/elisa.htm>
- RICO, J. E. (2002). Identificación de virus fitopatógenos en cultivos hortícolas de importancia económica en el estado de Guanajuato. Tesis de licenciatura. Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato, Irapuato, Guanajuato, México. p 267.
- ROBERT, L. W. (2009). Greenhouse crops and floriculture. UMass extension. The college of natural sciences. Department of Microbiology. URL: <http://www.umass.edu>.
- ROITT, I. M., Brostoff, J., Male, D. K. (1993) Immunology, Third edition. Mosby, St. Louis, MO. 34 p.
- SIAP-SAGARPA (2007). Servicio de la información agroalimentaria y pesquera de la secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Delegación en el Estado. Subdelegación de planeación. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- SIKORA, J. E. (2004). Extension plant pathologist. *Tabacco etch virus*. Alabama and Mandaubur Universities. p190.
- WALKER, J. M., Gingold E.B. (1997). Biología molecular y biotecnología. Segunda edición. Acribia, S.A. 475 p. 

Este artículo es citado así:

Robles-Hernández, L., A. C. González-Franco, E. Gill-Langarica, L. Pérez Moreno y J. C. López-Díaz. 2010. *Virus fitopatógenos que afectan al cultivo de chile en México y análisis de las técnicas de detección*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 4(2): 72-86.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

LORETO ROBLES HERNÁNDEZ. Es profesor investigador de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Idaho, USA, su Maestría y Licenciatura en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Conduce investigación en enfermedades de plantas causadas por bacterias y virus, así como de diagnóstico y control de las mismas. El Dr. Robles imparte las materias de Fitopatología y Control Biológico en maestría, y Microbiología y Fisiología de Poscosecha en licenciatura. Asimismo, asesora estudiantes de maestría y licenciatura. Es responsable del área de Diagnóstico de Enfermedades de Plantas y Fisiología de Poscosecha del Laboratorio de Microbiología Aplicada, Fitopatología y Fisiología de Poscosecha, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH.

ANA CECILIA GONZÁLEZ FRANCO. Es profesor investigador de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su Doctorado en la Universidad de Idaho, USA, su Maestría y Licenciatura en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Actualmente, conduce su investigación sobre enfermedades fúngicas, enfermedades virales y control biológico. Imparte las cátedras de Interacción microorganismo planta, Bioquímica, Química y Biotecnología. Asesora estudiantes de posgrado y licenciatura. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Actualmente, es responsable del área de Microbiología Aplicada y Biología Molecular en el Laboratorio de Microbiología Aplicada, Fitopatología y Fisiología de Poscosecha, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH.

EMMA MONSERRATH GILL LANGARICA. Obtuvo su grado de Licenciatura la Universidad Autónoma con la tesis titulada, "Caracterización de Rizobacterias para el Control de *Fusarium* y *Rhizoctonia* spp. en Chile". Ha participado en varios congresos nacionales entre los que destacan XI Congreso Internacional/XXXVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. y VI encuentro "Participación de la Mujer en la Ciencia". Actualmente, estudia la Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua con el proyecto de investigación titulado, "Identificación de virus fitopatógenos en el cultivo de chile (*Capsicum annum* L.) para el estado de Chihuahua".

LUIS PÉREZ MORENO. Es profesor investigador de la División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato. Obtuvo su Doctorado en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV), Campus Guanajuato, su Maestría en el Colegio de Postgraduados y su Licenciatura en la Universidad de Guadalajara. Actualmente, conduce su investigación sobre enfermedades de tipo viral y fúngico en los cultivos hortícolas, con énfasis en ajo y chile. El Dr. Pérez-Moreno imparte los cursos de Producción de Hortalizas, Manejo Integrado de Enfermedades y Diagnóstico de Enfermedades, entre otras. Es asesor de estudiantes de posgrado y licenciatura. Actualmente, es director de la División de Ciencias de la Vida (DICIVA-CIS-UG) y coordinador de la Maestría en Protección Vegetal de Hortalizas, responsable del cuerpo académico de Protección Vegetal. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde julio de 1987 hasta el 31 de diciembre de 2013. También cuenta con el reconocimiento profesor con perfil deseable por PROMEP-SEP.

JULIO CÉSAR LÓPEZ DÍAZ. Es profesor investigador de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su Maestría en Administración de Negocios en Sul Ross State University y Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Actualmente, conduce su investigación en economía agrícola, estrategias de negocios, sistemas de calidad y mejora continua. Imparte las cátedras de Administración Estratégica, Mercadotecnia Industrial y Planeación del Desarrollo Territorial. Asesora estudiantes de posgrado y licenciatura. Fue Director de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas y Director de Planeación de la UACH en los periodos 1992-1996 y 1996-2000, respectivamente.

Revisión de las características de los transportadores ABC involucrados en patogénesis fúngica

Review of characteristics of ABC transporters involved in fungal pathogenesis

YENY LIZZET COUOH UICAB¹, BLONDY BEATRIZ CANTO CANCHÉ¹ E IGNACIO ISLAS FLORES^{1,2}

Recibido: Mayo 7, 2010

Aceptado: Agosto 4, 2010

Resumen

Los transportadores ABC son proteínas con una amplia distribución entre los organismos procariontes y eucariontes; exhiben un mecanismo de transporte dependiente de energía, ya que necesitan de la unión e hidrólisis del ATP para realizar su función. En hongos, a los transportadores ABC se les han asignado múltiples funciones, entre ellas destaca su reciente asignación como factores de patogenicidad de hongos de importancia agronómica, tal es el caso de *Magnaporthe grisea*, *Botrytis cinerea*, *Gibberella pulicaris*, *Fusarium culmorum* y *Mycosphaerella graminicola*. En estos fitopatógenos, los genes ABC ortólogos que participan en la virulencia tienen un alto grado de conservación. No obstante, hasta el momento no existe evidencia sobre cómo estos transportadores ABC se especializaron con función en patogénesis. En este trabajo se resumen algunos de los hallazgos que se han realizado en la estructura de las proteínas transportadoras tipo ABC presuntamente involucradas en la patogenicidad de hongos fitopatógenos.

Palabras clave: Transportadores ABC, factores de patogenicidad, hongos.

Abstract

ABC transporters are proteins with broad distribution in prokaryotic and eukaryotic kingdoms; these proteins bind and use the energy of ATP to transport substances across membranes. In fungi, the ABC transporters have been involved in multiple functions, including the new role of pathogenicity factors in fungi with agronomic importance such as *Magnaporthe grisea*, *Botrytis cinerea*, *Gibberella pulicaris*, *Fusarium culmorum* and *Mycosphaerella graminicola*. There is a high conservation of nucleotide and amino acid sequence levels in orthologous of virulence-related ABC transporters. However, so far, there is no evidence about how these fungal ABC transporters became specialized in pathogenesis. This review summarizes some of the relevant findings about the structure of ABC transporter involved in the infective process of pathogenic fungi.

Keywords: ABC transporters, pathogenicity factors, fungi.

Introducción

Los transportadores ABC son proteínas integrales de membrana altamente conservadas y ubicuas en los organismos procariontes y eucariontes, de tal forma que en la actualidad los transportadores ABC constituyen una gran familia de proteínas parálogas, cuyo origen probablemente data de hace más de tres millones de años (Lee *et al.*, 2002; Saier *et al.*, 1998). La denominación ABC (ATP Binding Cassette; por sus siglas en inglés) se debe a que poseen dos dominios de unión a ATP los cuales han sido altamente conservados a lo largo del proceso evolutivo.

¹ Centro de Investigación Científica de Yucatán. A.C. Calle 43 # 130 Col. Chuburna de Hidalgo, Mérida, Yucatán. CP. 97200. Tel. 9428330 ext: 225/265.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: islasign@cicy.mx

La ubicación celular de los transportadores ABC comprende las membranas de diversos compartimentos celulares entre los cuales se incluye la membrana plasmática, las membranas de las vacuolas, peroxisomas, mitocondrias y retículo endoplásmico (Stergiopoulos *et al.*, 2003). Entre los compuestos que transportan, se encuentran una gran cantidad de componentes hidrofóbicos, azúcares, aminoácidos, iones metálicos, péptidos y proteínas (Jones y George, 2002). Recientemente se ha demostrado que los transportadores ABC están involucrados en la resistencia a toxinas y xenobióticos, e interesantemente se han postulado a los transportadores ABC como factores de fitopatogenicidad necesarios para que el patógeno desarrolle la enfermedad en su hospedero (De Waard *et al.*, 2006).

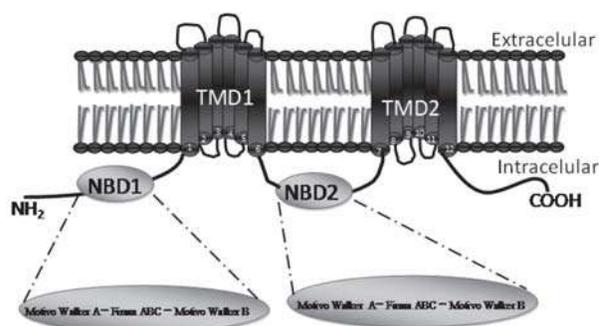
Los hongos fitopatógenos ocasionan elevadas pérdidas económicas en cultivos de importancia agronómica, como trigo, maíz, cebada, tomate, papa, entre otros. Ante dicha eventualidad, ha sido necesario realizar grandes inversiones en agroquímicos para implementar programas preventivos con el propósito de minimizar el desarrollo de las enfermedades en los cultivos de interés para el hombre.

Debido a la importancia que tienen los hongos, es que vale la pena realizar un análisis de la función y conservación de los transportadores ABC en la patogénesis de hongos fitopatógenos. Está bien establecido que los transportadores ABC pertenecen a familias multigénicas; no obstante, surgen cuestionamientos totalmente válidos acerca de sus similitudes y diferencias, por ejemplo, si los transportadores ABC son altamente conservados, entonces, ¿Cuál es la diferencia entre los transportadores ABC de hongos patógenos y no patógenos?, ¿Existe diferencia en su estructura y topología? Por dichas razones, en esta revisión se describe y analiza el mecanismo de transporte, la estructura y la topología de diversos transportadores ABC, todo ello con el objetivo de tratar de entender cómo funcionan los

transportadores ABC en hongos fitopatógenos.

Estructura general de los Transportadores ABC. Los transportadores ABC (Figura 1), están constituidos por dos dominios transmembranales (TMD) y dos dominios de unión a ATP (NBD, por sus siglas en inglés "Nucleotide Binding Domain"). Los TMD están formados, cada uno, de seis hélices que atraviesan varias veces la membrana; esta región es la más divergente de los transportadores ABC, y es la que determina la especificidad hacia el sustrato. La unión de los dos TMD forma un canal que permite la translocación del sustrato a través de la membrana (Hollenstein *et al.*, 2007; Dawson *et al.*, 2007). El número de hélices transmembranales es variable y depende de la masa y la naturaleza química del sustrato que translocan (Saurin *et al.*, 1999; Dawson *et al.*, 2007).

Figura 1. Esquematización de la estructura de un transportador ABC. Dos dominios transmembranales (TMD's) cada una con seis hélices, dos dominios de unión a ATP (NBD's) conteniendo los motivos Walker A, B y firma ABC.



Los dominios NBD están orientados hacia el citoplasma (Figura 1); cada dominio NBD contiene tres motivos consenso denominados Walker A, Walker B y el motivo C o LSGGQ, además de dichos motivos conservados existen otros como el D-loop, Q-loop (Jones y George 2002; Nikaido, 2002; Stergiopoulos *et al.*, 2007).

El motivo Walker A, también denominado P-Loop (GX4GK/CT/S), forma una horquilla rica

en glicina, seguida de un alfa hélice; esta estructura permite la unión electrostática del adenosin trifosfato (ATP). El motivo Walker B (I (Hy) 4D) provee el residuo carboxilato que coordina y estabiliza el Mg^{2+} , el cual es un cofactor en la hidrólisis del ATP, además participa en el mantenimiento de la geometría del sitio activo (Schneider y Hunke, 1998; Moody *et al.*, 2002). El Q-loop ubicado cercanamente al motivo Walker A es importante, ya que media la señalización entre el TMD y el sitio activo del NBD. El D-loop ubicado debajo el motivo Walker B contiene una secuencia conservada de aminoácidos "SALD" la cual está involucrada en la actividad catalítica y la intercomunicación de los sitios activos; la firma ABC o LSGGQ está altamente conservada entre los NBD y es la que transduce la señal entre el NBD y el TMD; la interacción entre el motivo A y LSGGQ es de vital importancia para la hidrólisis del ATP (Higgins, 1998).

La estructura tridimensional sugiere que los dominios NBD forman un dímero simétrico en el cual dos moléculas de ATP están contenidas dentro de los motivos Walker A y Walker B de uno de los NBD y la firma ABC del otro dominio NBD. Sugiere además que la firma ABC del NBD contribuye a la activación del sitio de unión formado por el hidrógeno de la ribosa y el fosfato gamma del ATP. Aunque existen diferencias de estructura y función en los diferentes transportadores ABC, el grado de conservación en los motivos consenso es alto (Jones y George, 2004).

Mecanismo de translocación en los transportadores ABC. Los transportadores ABC realizan un transporte dependiente de energía, ya que necesitan de la hidrólisis del ATP para efectuar su función. La interfase TMD-NBD es crucial en la coordinación de la unión con el sustrato, y su posterior translocación está acoplada a la hidrólisis de ATP (Gang *et al.*, 2005; Oswald *et al.*, 2006).

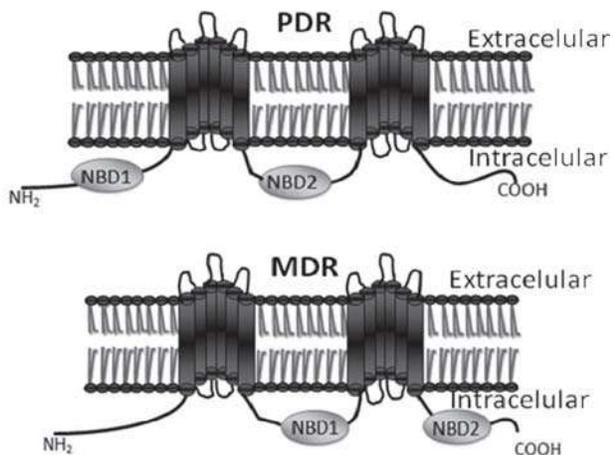
Para explicar el mecanismo de transporte de los transportadores ABC se han propuesto dos modelos: el primero, también conocido

como el modelo del ciclo catalítico alternante, sugiere la existencia de un ciclo catalítico alternante entre los dos NBD durante la hidrólisis del ATP, es decir, propone que los dos sitios de unión a ATP son necesarios para la funcionalidad del transportador y para que tenga lugar la hidrólisis del ATP, pero establece que ambos sitios no hidrolizan el ATP al mismo tiempo, sino que se alternan (Senior *et al.*, 1995). Dicho modelo asume que la principal fuente de energía para el transporte de sustratos procede de la hidrólisis del ATP, y que los NBD al funcionar de manera alterna, están acoplados a distintas etapas del ciclo de transporte. No obstante, estudios bioquímicos sugieren que es la unión del ATP más que su hidrólisis, lo que ocasiona los cambios conformacionales en el transportador, mismos que promueven el transporte de sustratos (Higgins, 1998). Este último hallazgo llevó a proponer el segundo modelo llamado de interruptor de ATP, el cual se basa en dos cambios alternantes en la conformación de los NBD: La formación de un dímero cerrado tras la unión de dos moléculas de ATP en la interfase del mismo y la disociación del dímero abierto tras la hidrólisis del ATP y la liberación del Pi y ADP (Jones y George, 1999; Vander Does y Tampe, 2004). Estudios cinéticos de este último modelo indican que existe cooperatividad entre los sitios de unión a ATP, hecho que puede ser finamente regulado por señales procedentes de los TMD. El cambio procedente de la conformación cerrada y abierta del dímero causa cambios conformacionales de los TMD, factor que es necesario para el transporte del sustrato a través de la membrana; lo anterior sugiere que la fuerza para transportar al sustrato es producida por la formación cerrada (asociación) y abierta (disociación) del dímero (Altenberg, 2003).

Clasificación de los transportadores ABC en eucariontes. Los transportadores ABC se clasifican en importadores o exportadores, de acuerdo a la dirección hacia donde realizan el transporte; en eucariontes se sugiere que son exportadores, mientras que en procariontes

pueden tener ambas funciones (Anjard *et al.*, 2002). Los transportadores ABC también han sido clasificados con base en su topología, por ejemplo, en eucariontes se han descrito dos topologías (Figura 2); el tipo MDR (de sus siglas en inglés "Multidrug resistance"), el cual presenta la topología TMD₆-NBD₂ y el tipo PDR (de sus siglas en inglés "Pleiotropic resistance") presenta la topología NBD₂-TMD₆ (Stergiopoulos *et al.*, 2003). En bacterias, los TMD-NBD pueden encontrarse como polipéptidos de cadena separada (NBD, TMD, NBD, TMD) cuyo acoplamiento permite la funcionalidad del transportador, o también pueden encontrarse con un dominio TMD unido a un motivo NBD (NBD-TMD), formando la mitad de un transportador inactivo; este TMD-NBD requiere dimerizarse para ser funcional (Schneider y Junke, 1998). En el caso de eucariontes, los dominios TMD-NBD-TMD-NBD se encuentran como un solo polipéptido (De Waard *et al.*, 2006).

Figura 2. Representación esquemática de los transportadores ABC eucariontes y su clasificación de acuerdo a su disposición topológica. PDR) si la topología es NBD-TMD₆-NBD-TMD₆. MDR) si la topología es TMD₆-NBD-TMD₆-NBD. Los NBD's se encuentran localizados en la cara citoplásmica, al igual que el amino (NH₂) y carboxilo (COOH) terminal.



En los ABC importadores, cada dominio TMD-NBD cuenta con varios sitios de unión al sustrato; se postula que los TMD-NBD deben poseer alta especificidad. Por su parte; los ABC exportadores, reclutan su sustrato en el citoplasma o en la bicapa lipídica aunque el mecanismo no está bien establecido (Dawson *et al.*, 2007). Algunos ejemplos de transportadores ABC tipo PDR incluyen a *atrC* de *Aspergillus nidulans*, *BcatrB*, *BcatrK*, de *B. cinerea*, *GpAbc1* de *G. pulicaris*, *ABC1* de *M. grisea*, *MgAtr1*, *MgAtr2*, *MgAtr3*, *MgAtr4* y *MgAtr5* de *M. graminicola*, *PMR1*, *PMR5* de *A. digitatum*, *LMABC1*, *LMABC2* de *Leptosphaeria maculans*, *ViABC1*, y *ViABC2* de *Venturia inaequalis*, entre otros. En el caso de los transportadores tipo MDR se puede mencionar a *AfIMDR1* de *A. flavus*, *ViABC4* de *V. inaequalis*, *Sng2* de *S. cerevisiae*, *atrC*, *atrD* de *A. nidulans*, y *CDR1*, *CDR2* de *Candida albicans*, entre otros.

Transportadores ABC involucrados en la virulencia de hongos fitopatógenos. Los transportadores ABC de hongos tienen funciones diversas, entre ellas se han descrito la protección contra compuestos tóxicos naturales presentes en el medio ambiente (e.g. antibióticos en el suelo), la secreción de metabolitos tóxicos, secreción de factores de apareamiento, excreción de xenobióticos (e.g. fungicidas). Además de las funciones arriba descritas, también están involucrados en la protección contra compuestos de defensa de la planta (fitoalexinas) y en la secreción de factores de virulencia (micotoxinas) (Stergiopoulos *et al.*, 2003; De Waard *et al.*, 2006).

En hongos fitopatógenos, existen pocos estudios, sobre la participación de los transportadores ABC en virulencia; en uno de tales estudios se estableció que en *Magnaporthe grisea*, se requiere del transportador *ABC1* para invadir exitosamente al hospedero, además de que dicho transportador permite que *M. grisea* sea capaz de tolerar la exposición a los componentes fitotóxicos. Para analizar la participación del gen

ABC1 durante la interacción planta-patógeno, se realizaron ensayos con una mutante generada por inserción del gen de la higromicina (HPH) a 718 pb corriente arriba del codón de inicio a nivel de la región promotora. La mutación en el gen ABC1 ocasionó una reducción drástica del nivel de transcrito de dicho gen, cuando se expuso a compuestos fúngicos y fitoalexinas del arroz; dicha mutante también mostró una reducción en el crecimiento y en su patogenicidad. Este reporte fue el primero que mostró evidencias de la participación de un transportador ABC en la patogénesis (Urban *et al.*, 1999).

Se ha observado que *Botrytis cinerea* es capaz de contrarrestar el efecto de compuestos tóxicos a través de un transportador ABC codificado por el gen *BcatrB*, el cual tiene entre 31-67 % de identidad con otros transportadores ABC de hongos. Los tratamientos con revestiranol y fenpiclonil en cepas mutantes en el gen *BcatrB* han evidenciado un mayor efecto de los fungicidas sobre las cepas mutantes respecto a la cepa silvestre. Las mutantes en el gen *BcatrB* presentaron un bajo nivel de virulencia, lo que sugirió que dicho gen es determinante en la sensibilidad a fungicidas y virulencia (Schoonbeeck *et al.*, 2001).

En *Gibberella pullicaris*, hongo necrotrófico que infecta a *Solanum tuberosum*, se ha visto que durante la infección, el patógeno se expone a las fitoalexinas rishitina y lubimina. Se ha demostrado que en este patógeno, el gen *Gpabc1* codifica para un transportador ABC, el cual es necesario para la tolerancia a fitoalexinas y virulencia en papa. El gen *Gpabc1* muestra alta homología con el gen ABC de *M. grisea*. Mutantes en el gen *Gpabc1* muestran una disminución en su virulencia y en su capacidad para metabolizar rishitina y lubimina (Fleibner *et al.*, 2002).

En el caso de *Fusarium culmorum*, patógeno que afecta las raíces de cebada, se identificó el gen *FcABC1*, el cual codifica para un transportador ABC homólogo a los transportadores ABC1 de *M. grisea* y *Gpabc1*

de *G. pullicaris*. Estudios de mutación de este gen mediante el gen de la higromicina mostraron una reducción de la agresividad de *F. culmorum*; análisis posteriores de las mutantes demostraron que el transportador *FcABC1* desempeña un papel fundamental en la patogénesis. Experimentos de Northern blot permitieron demostrar que el gen *FcABC1* se expresa fuertemente durante la infección en cebada. *FcABC1* tiene un alto nivel de similaridad con el transportador ABC de *Fusarium graminearum* involucrado en patogénesis (Skov *et al.*, 2004).

En el hongo *Mycosphaerella graminicola*, agente causal de la mancha de la hoja del trigo, Stergiopoulos *et al.* (2003) aislaron cinco transportadores ABC denominados *MgAtr1*, *MgAtr2*, *MgAtr3*, *MgAtr4* y *MgAtr5*, dichos transportadores fueron clonados y caracterizados. La caracterización mostró que los transportadores *MgAtr1-5* proveen al patógeno protección contra fungicidas y compuestos tóxicos de la planta, aunque en particular se demostró que el transportador *MgAtr4* es un factor de virulencia necesario para que el hongo desarrolle la enfermedad en las plantas de trigo (Stergiopoulos *et al.*, 2003). Dada la importancia de los transportadores ABC en la patogenicidad de los hongos arriba descritos, en la Figura 3 se muestra el alineamiento realizado con el programa Antheptot de los dominios NBD1 y NBD2, con sus respectivos motivos Walker A, Walker B y firma ABC de *M. grisea*, *B. cinerea*, *G. pullicaris* y *M. graminicola*. Asimismo, se resaltan sus similitudes y diferencias. No se incluyó el transportador *FcABC1* debido a que sólo se tiene una secuencia parcial del gen y corresponde a una región transmembranal.

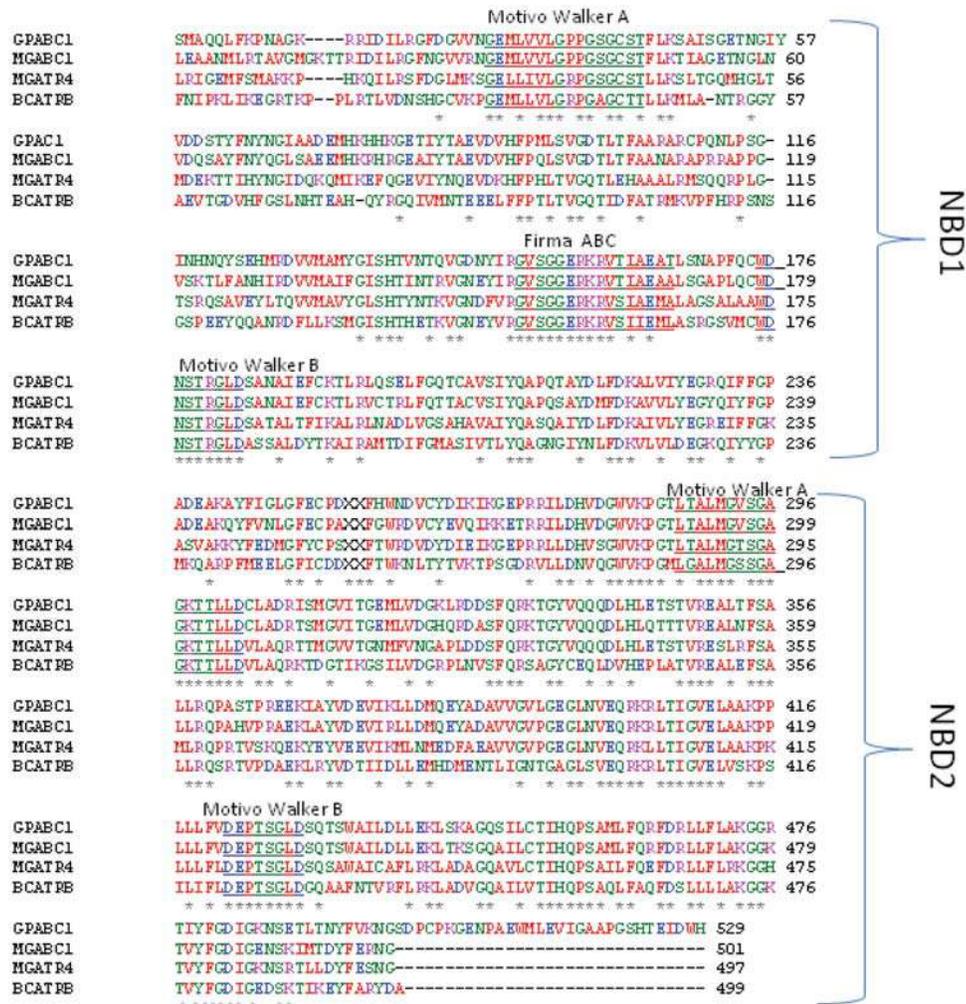
Conservación de los transportadores ABC en fitopatógenos. En el genoma de hongos de 10 a 30 genes por megabase de ADN genómico codifican para transportadores, siendo mayoritarios los transportadores MFS (Major Facilitator Superfamily por sus siglas en inglés), respecto a los transportadores ABC. No obstante, parece no haber correlación entre la

cantidad de transportadores ABC codificados por el hongo con su patogenicidad; por ejemplo, en *Aspergillus nidulans* (saprófito) y *Aspergillus fumigatus* (patógeno) dos especies relativamente cercanas, se observó que el genoma de ambas especies contiene 45 transportadores ABC (Coleman y Milonakys, 2009). Por tanto, ¿Qué ha llevado a ciertos transportadores ABC en adjudicarse la función de patogenicidad?

Young *et al.* (2001) realizaron un estudio sobre la distribución de las secuencias consenso de transportadores ABC en diversos

fitopatógenos como *B. cinerea*, *M. grisea*, *Phytophthora infestans*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum lagenarium* y *Fusarium oxysporum*. Para confirmar la presencia de los transportadores ABC en los fitopatógenos, realizaron análisis de Southern blot, utilizando como sonda un fragmento del gen PMR1 (involucrado en patogenicidad), mediante PCR con oligonucleótidos degenerados y utilizando como templado el DNA genómico de los diversos fitopatógenos; amplificaron un fragmento del gen de interés a partir de cada una de las especies en estudio y los

Figura 3. Alineamiento de los dominios NBD1 y NBD2 de *M. grisea* (NCBI; accesión AAB86640), *B. cinerea* (NCBI, accesión CAB52402), *G. pulicaris* (NCBI; accesión CAC40023) y *M. graminicola* (NCBI; accesión AAK153149); con el programa Clustalw. La línea indica los motivos Walker A, B y la firma ABC característica de la familia de transportadores ABC. *indica los aminoácidos conservados.



secuenciaron. El alineamiento de las secuencias que contienen los tres motivos característicos de los transportadores ABC, mostró que en los fitopatógenos analizados, la secuencias consensos están altamente conservadas (De Hertogh *et al.*, 2006) aunque esto no necesariamente indica asociación directa con la patogénesis. Estudios de funcionalidad han sugerido una especialización de ciertos transportadores ABC en la patogénesis; tal es el caso del gen *ABC1* (*M. grisea*), *BcatrB* (*B. cinerea*), *Gpabc1* (*G. pulicaris*), *FcABC1* (*F. culmorum*) y *MgAtr4* (*M. graminicola*). La mayoría de los genes antes citados han sido ubicados dentro de la familia PDR (Coleman y Mylonakis, 2009). No obstante, aún no es clara la forma en que esos transportadores ABC se especializaron en la virulencia y cómo adquirieron esa función. Por medio de análisis filogenéticos entre transportadores ABC y MFS de hongos ascomicetos y basidiomicetos, se ha demostrado que existen notables diferencias en la evolución de las familias y subfamilias de dichos genes, pues se ha observado que en las familias de genes, las características estructurales adquiridas se conservan extraordinariamente durante el proceso evolutivo (Gbelska *et al.*, 2006). Este hecho sugiere que miembros de la familia ABC han sido sujetos a las fuerzas evolutivas, originando con ello la especialización de transportadores ABC a múltiples funciones, entre las que se destaca su participación en la patogénesis (Anjard *et al.*, 2002; Gbelska *et al.*, 2006).

Discusiones y conclusiones

Estudios filogenéticos han demostrado que existe una alta conservación entre los dominios de unión a ATP (NBD) presentes en los organismos eucariontes y los dominios de unión a ATP de los organismos procariontes (Seret *et al.*, 2009). El alto nivel de homología ha dado pie a la hipótesis de que los dominios NBD de los transportadores ABC de animales, hongos y plantas provienen de un ancestro común, el cual probablemente tuvo su origen en las

bacterias (Anjard *et al.*, 2002). Posterior a su transferencia a los organismos superiores, los dominios NBD de los transportadores ABC se vieron sujetos a eventos de multiplicación/delección, como resultado de las presiones de selección a la que están sujetos los organismos. Esta propuesta se sustenta en el hecho de que actualmente en los procariontes, los transportadores ABC constan de dos o más polipéptidos y requieren dimerizarse para ser funcionales. En contraste, en los eucariontes, los transportadores ABC son codificados como un solo polipéptido, generalmente funcional (Anjard *et al.*, 2002). El hecho anterior establece que aunque los NBD comparten el mismo origen evolutivo y mecanismos de transporte comunes, todo indica que a lo largo de la evolución los dominios NBD se han acoplado al evento catalítico de distintas subfamilias de transportadores hasta dar origen a lo que hoy conocemos como los transportadores ABC.

En *Saccharomyces cerevisiae*, organismo cuyo genoma fue el primero en ser secuenciado, es donde mejor se ha estudiado el mecanismo de acción de los transportadores ABC. En este hongo levaduriforme Rank y Hansen (1973) reportaron el primer fenotipo PDR (de sus siglas en inglés; pleiotropic drug resistance) y sugirieron que una sola mutación en los factores de transcripción Pdr1 y Pdr3 era la responsable del fenotipo PDR, la cual generalmente se asocia con la resistencia a múltiples drogas (Seret *et al.*, 2009). La mutación *per se* incrementa la expresión de genes tales como Pdr5p, Snq2p, Pdr10p, Pdr15p y YNR70wp; análisis del genoma de *S. cerevisiae* confirmaron que esos genes son miembros de la subfamilia de transportadores ABC.

Los estudios acerca de los transportadores ABC realizados en *S. cerevisiae*, *Candida albicans* y *Aspergillus nidulans*, han sido fundamentales para entender la función de los transportadores ABC, particularmente en la adquisición de la resistencia a diferentes drogas y medicamentos (Sukla *et al.*, 2003; De Waard *et al.*, 2006). En humanos, por ejemplo, los transportadores ABC de los hongos patógenos

C. albicans y *Aspergillus nidulans* son motivo de creciente atención debido a su función de resistencia a medicamentos de uso clínico. En el caso de hongos fitopatógenos se han identificado numerosos transportadores ABC, y su función más común es el transporte de compuestos tóxicos (Sukla *et al.*, 2003; De Waard *et al.*, 2006). No obstante, existen al menos cinco reportes de estudios de funcionalidad de genes que codifican para transportadores ABC (*ABC1*, *BcAtrb*, *GpABC1*, *FcABC1*, *MgAtr4*) y en ellos se ha evidenciado que algunos de los transportadores ABC de hongos se han especializado o tienen cierta participación en la virulencia de hongos tales como *Magnaporthe grisea*, *Botrytis cinerea*, *Gibberella pulicaris*, *Fusarium culmorum* y *Mycosphaerella graminicola*. Mutaciones en los genes arriba mencionados ocasionan una disminución en la capacidad infectiva de los organismos portadores. No obstante, en dichos estudios no se considera el hecho de que la patogénesis no es un evento que sea determinado únicamente por el transportador ABC, sino que pueden existir otros elementos de regulación génica o químicos (metabolitos secundarios) que contribuyan a dicho fenómeno.

Debido al interés por entender cómo es que los transportadores ABC participan en la patogenicidad/virulencia de los transportadores ABC, Skov *et al.* (2004) realizaron alineamientos tipo Blast y comparación de la secuencia de los transportadores *ABC1*, *BcAtrb*, *GpABC1*, *FcABC1*, *MgAtr4* y seis transportadores hipotéticos de *Gibberella zeae* (accesión EAA72194, EAA70810, EAA76260, EAA78585, EAA67787 y EAA77558) donde su análisis demostró que entre los transportadores existen diferentes niveles de homología, por ejemplo, la proteína *FcABC1* tiene 98 % de homología con una proteína hipotética de *G. zeae* (Accesión EAA72194) y 91 % y 63 % con las proteínas *GpABC1* y *ABC1* de *Magnaporthe grisea*, respectivamente. La mayor divergencia de *FcABC1* (homología menor o igual al 50 %)

se registró con los transportadores *MgAtr4* y *BcAtrB*. El resultado anterior parece contradictorio dado que se debería esperar que los transportadores ABC involucrados en virulencia mantuvieran una elevada conservación entre ellos. Sin embargo, hasta el momento no existe evidencia filogenética que establezca que los transportadores asociados a virulencia deban agruparse en un solo clado. De igual manera, hasta el día de hoy no se ha determinado una diferencia estructural o filogenética que permita distinguir a los transportadores ABC involucrados en virulencia con respecto de otros transportadores ABC de hongos. Una posibilidad para establecer tales diferencias pudiera basarse en estudios cristalográficos de asociación sustrato-ligando con el fin de determinar los aminoácidos que participan o son esenciales para la unión de las micotoxinas y su transporte hacia el hospedero.

Actualmente, una de las limitantes para tener una mejor comprensión acerca de la importancia de los transportadores ABC involucrados en fitopatogenicidad, es el limitado número de estudios que existen en dicha área. No obstante, también representa un área de oportunidad debido a la alta demanda de productos que permitan un mejor control de los microorganismos que inciden sobre los cultivos de importancia agronómica. El desarrollo de investigación en los transportadores ABC de fitopatógenos, particularmente de aquellos involucrados en la fitopatogenicidad pudiera conducir a la síntesis o descubrimiento de nuevos productos (fungitóxicos) o de blancos potenciales en las proteínas transportadoras, en cuyo caso representarían alternativas de control de fitopatógenos.

Agradecimientos

A CONACyT por el apoyo económico al proyecto No. 45788-Z y la beca Núm. 204766 otorgada a Couoh-Uicab Yeny. De manera particular a los dos revisores anónimos que contribuyeron con sus observaciones a enriquecer el manuscrito

Literatura citada

- ALTENBERG, G. 2003. The engine of ABC proteins. *New Physiology Science* 18: 191-195.
- ANJARD, C. and F. William. 2002. Evolutionary analysis of ABC transporter of *Dictyostelium discoideum*. *Journal Molecular Evolution* 48: 22-41.
- COLEMAN, J. and E. Mylonakis. 2009. Efflux in Fungi: La Piece de Resistance. *PLoS Pathogens* 5(6): 1-7.
- DAWSON, R., K. Hollenstein, and K. Locher. 2007. Uptake or extrusion: crystal structures of full ABC transporter suggest a common mechanism. *Molecular Microbiology* 65 (2): 250-257.
- DE HERTOUGH, B., F. Hancy, A. Goffeau, and P. V. Baret. 2006. Emergence of species- specific transporters during evolution of the Hemiascomycete phylum. *Genetics* 172: 771-781.
- DE WAARD, M., A. Andrade, K. Hayashi, H. Schoonbeek, I. Stergiopoulos, and L. Zwieter. 2006. Impact of fungal drug transporters on fungicide sensitivity, multidrug resistance and virulence. *Review Pesticide Manager Science* 62: 195-207.
- FLEIBNER, A., C. Sopalla, and K. M. Weltring. 2002. An ATP-binding cassette multidrug-resistance transporter is necessary for tolerance of *Gibberella pulicaris* to phytoalexins and virulence on potato tubers. *Molecular Plant Mycology Interaction* 15(2): 102-108.
- GBELSKA, Y., J. Krijger, and K. D. Breunig. 2006. Evolution of gene families: the multidrug resistance transporter genes in five related yeast species. *FEMS Yeast Research* 6: 345-355.
- HIGGINS, C. F. 1998. ABC transporter: from microorganism to man. *Annual Review of Cell Biology* 8: 67-113.
- HOLLENSTEIN C., D. C. Frei, and K. Locher. 2007. Protein structure of an ABC transporter in complex with its binding. *Nature* 446 (7132): 213-216.
- JONES, P. M. and A. M. George. 1999. Subunits interactions in ABC transporter: toward a functional or architecture. *FEMS Microbiology Letter* 179(2): 187-202.
- JONES, P. M. and A. M. George. 2002. Mechanism of ABC transporter: a molecular dynamics simulation of a well characterized nucleotide binding subunit. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 99(2): 12639-12644.
- JONES, P. M. and A. M. George. 2004. The ABC transporter structure and mechanism: perspectives on recent research. *Cellular and Molecular Life Sciences* 61: 682-699.
- LEE, J., I. L. Urbastch, A. E. Senior, and S. Wilkens. 2002. Projection structure of P-glycoprotein by electron microscopy. Evidence for a closed conformation of the nucleotide binding domains. *Journal of Biological Chemistry* 277: 40125-10131.
- GANG, L., J. Westbrooks, A. Davidson, and J. Chen. 2005. ATP hydrolysis is required to reset the ATP-binding cassette dimer into the resting-state conformation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 102(50): 17969-17974.
- MOODY, J., L. Millen, D. Binns, and T. Philips. 2002. Cooperative ATP dependent association of the nucleotide binding cassettes during the catalytic cycle of ATP binding cassette transporter. *Journal of Biological Chemistry* 277(24): 21111-21114.
- NIKAIDO, H. 2002. ¿How are the ABC transporters energized?. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 23: 9609-9610.
- OSWALD, C., L. B. Hollan, and T. Schmitt. 2006. The motor domains of ABC transporter. ¿What can structures tell us?. *Archives of Pharmacology* 372: 385-399.
- RANK, G. H., and B. Hansen. 1973. Single nuclear gene inherited cross resistance and collateral sensitivity to 17 inhibitors of mitochondrial function in *S. cerevisiae*. *Molecular and General Genetics* 126: 93-102.
- SAIER, M. Jr., M. Sliwinski, S. Pao, R. Skurray, and H. Nikaído. 1998. Evolutionary origins of multidrug and drug specific pumps in bacteria. *The FASEB Journal* 12: 265-274.
- SAURIN, W., M. Hofnung, and E. Dassa. 1999. Getting In or Out: early segregation between importers and exporters in the evolution of ATP-Binding Cassette (ABC) transporters. *Journal of Molecular Evolution* 48: 22-41.
- SCHNEIDER, E. and S. Hunke. 1998. ATP binding cassette (ABC) transport system: functional and structural aspects of the ATP hydrolyzing subunits domains. *FEMS Microbiology Review* 1: 1-20.
- SENIOR, M., A. Shawi, and W. Bastch. 1995. The catalytic cycle of P-glycoprotein. *FEBS Letter* 377: 285-289.
- SERET, M., J. F. Diffels, A. Goffeau, and P. Baret. 2009. Combined phylogeny and neighborhood analysis of the evolution of the ABC transporters conferring multiple drug resistance in hemiascomycete yeasts. *BMC Genomics* 10: 459.
- SCHOONBEEK, H., G. Del Sorbo, and M. A. De Waard. 2001. The ABC transporter *BcatrB* affects the sensitivity of *Botrytis cinerea* to the phytoalexin resveratrol and the fungicide fenpiclonil. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 14(4): 562-571.
- SKOV, J., M. Lemmens, and H. Giese. 2004. Role of a *Fusarium culmorum* ABC transporter (*FcABC1*) during infection of wheat and barley. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 64: 245-254.
- STERGIOPOULOS, I., L. Zwieter, and M. De Waard. 2003. The ABC Transporter *MgAtr4* is a virulence factor of *Mycosphaerella graminicola* that affects colonization of substomatal cavities in wheat leaves. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 16(8): 689-698.
- STERGIOPOULOS, I., M. Groenewald, M. Staats, P. Lindhout, P. Cerous, and J. Pierre. 2007. Mating-type genes and the genetic structure of a world-wide collection of the tomato pathogen *Cladosporium fulvum*. *Fungal Genetic and Biology* 44: 415-429.
- SUKLA, S., P. Saini, S., Ambudkar, and R. Prasad. 2003. Functional characterization of *Candida albicans* ABC transporter *cdr1p*. *Eukaryotic Cell* 2: 1136-1375.
- URBAN, M., T. Bhargava, and J. E. Hamer. 1999. An ATP-driven efflux pump is a novel pathogenicity factor in rice blast disease. *EMBO Journal* 18(3): 512-521.
- VANDER DOES, C. and R. Tampe. 2004. How do ABC transporters drive transport?. *Biological Chemistry* 385: 927-933.
- YOUNG, L., H. Hamamoto, R. Nakaune, O. Nawata, K. Akutsu, and T. Hibi. 2001. Distribution of the consensus sequences of ABC transporter gene among several taxonomically distinct phytopathogenic fungi. *Journal of General Plant Pathology* 67: 106-110. 

Este artículo es citado así:

Couoh-Uicab, Y., B. Canto-Canché e I. Islas-Flores. 2010. *Revisión de las características de los transportadores ABC involucrados en patogénesis fúngica.* *TECNOCENCIA Chihuahua* 4(2): 87-96.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

YENY LIZZET COUOH UICAB. Cursó la carrera de Biología en el Instituto Tecnológico de Conkal. Actualmente cursa el Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas en el Centro de Investigación Científica de Yucatán. e-mail: liz@cicy.mx.

IGNACIO ISLAS FLORES. Cursó la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM, la maestría en Biotecnología Vegetal en el Instituto Tecnológico de Mérida, y el Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas en el Centro de Investigación Científica de Yucatán. Realizó un Posdoctorado en el Instituto de Biotecnología de la UNAM. Tiene 16 publicaciones internacionales, 6 artículos de divulgación nacional y 5 capítulos de libro. Actualmente es investigador titular B del Centro de Investigación Científica de Yucatán y es miembro nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores. e-mail: islasign@cicy.mx.

BLONDY BEATRIZ CANTO CANCHÉ. Cursó la carrera de Químico Biólogo Bromatólogo en la Facultad de Química de la UADY, tiene un Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas en el Centro de Investigación Científica de Yucatán. Realizó un Posdoctorado en el Instituto de Biotecnología de la UNAM. Tiene 13 publicaciones internacionales, 3 artículos de divulgación nacional y 1 capítulo de libro. Actualmente es investigador titular A del Centro de Investigación Científica de Yucatán y es miembro nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores. e-mail: cantocanche@cicy.mx.

Sensibilidad y especificidad de pruebas diagnósticas para CaCu: Muestras de mestizas y tarahumaras del Hospital General Salvador Zubirán de la ciudad de Chihuahua

Sensitivity and specificity of cervical cancer diagnostic methods: Mestiza and tarahumara samples from General Hospital Salvador Zubirán, Chihuahua City

IRENE LEAL-BERUMEN^{1,6}, CARLOS VILLALOBOS-FIGUEROA², ROSARIO WISBRUN-CASTILLO³, VERÓNICA MORENO-BRITO¹, ÁNGEL LICÓN-TRILLO¹, RUTH LECHUGA-VALLES¹, EVERARDO GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ⁴ E IMELDA ALCALÁ-SÁNCHEZ⁵

Recibido: Diciembre 17, 2009

Aceptado: Julio 27, 2010

Resumen

El uso de metodologías combinadas para la detección de cáncer cérvico uterino (CaCu) mejora el grado de confianza de su diagnóstico. Los métodos de diagnóstico Papanicolaou, la colposcopia y el estándar de oro, que es el histológico, han ayudado a bajar la frecuencia de cáncer cervical invasivo. La valoración de estos métodos permite detectar correctamente a las mujeres enfermas de las sanas. En este estudio se calcula la sensibilidad y especificidad del Papanicolaou y colposcopia en una población mixta de mestizas y tarahumaras que acudieron a la Clínica de Displasias del Hospital General Salvador Zubirán de la ciudad de Chihuahua. Se observó diferencia significativa en los resultados del método colposcópico en la prevalencia de lesiones cervicales entre los dos grupos étnicos estudiados, con un mayor número de lesiones NIC I y cáncer en mestizas, y un mayor número de lesiones NIC II y III en tarahumaras. El resultado de sensibilidad en el Papanicolaou, considerando a la población total, fue de 53.3 %, menor que los resultados reportados por otros autores, sin embargo, se observó una buena especificidad del 87.5 %. Respecto a la colposcopia, obtuvimos un patrón similar, baja sensibilidad (55.5%) y alta especificidad (94.5%). Cuando analizamos los datos por etnias, los resultados del Papanicolaou se comportan en forma similar. Sin embargo, en los resultados de colposcopia en la población mestiza, la especificidad del método colposcópico fue del 97.5 %, y en la etnia tarahumara la sensibilidad de la colposcopia aumentó significativamente a 83.3%. Estas diferencias deben estar influidas por diversos factores, entre los más importantes, la experiencia de los médicos. Se considera esencial la vinculación entre el sector universitario y la Secretaría de Salud, ya que este tipo de análisis retroalimenta y permite llegar a la toma adecuada de decisiones durante las etapas de planeación de los programas de salud que intentan disminuir los índices de CaCu en nuestra población.

Palabras clave: Prevalencia, sensibilidad, especificidad, CaCu, Papanicolaou, colposcopia, histológicohongos.

Abstract

Using a combination of methodologies to detect uterine cervical cancer increases the diagnosis confidence degrees. Papanicolaou, colposcopy and histological (gold standard), are the methods that have helped reduced the frequency of invasive cervical cancer. Validation of these methods allows correct detection, sick women versus healthy ones. We calculated sensitivity and specificity of Papanicolaou and colposcopy methods in a mixed population of mestizas and tarahumaras who attended to the Displasia Clinic at the Hospital General Salvador Zubirán from Chihuahua city. Prevalence of cervical lesions in mestizas were significantly different within colposcopic results, greater for NIC I and cancer, whereas NIC II and NIC III lesions were higher for tarahumaras. The results, including the whole women population showed a 53.3 % sensitivity in the Papanicolaou method, lower than other similar studies, however, the specificity was good (87.5 %). Regarding the colposcopy method, a similar result was observed, low sensitivity (55.5 %) and high specificity (94.5 %). Analyzing each ethnic group, the results were not so different regarding the Papanicolaou method, whereas in the colposcopy method in mestizas the specificity increased to 97.5 % and in tarahumaras the sensitivity increased significantly to 83.3 %. These differences must be influenced by several factors, maybe the most important being the medical doctor experience. We believe that interaction between the university and the Public Health Department is essential in order to analyze and feedback results that may help during planning activities to make good decisions that may decrease the cervical cancer in our population.

Keywords: Prevalence, sensitivity, specificity, cervical cancer, Papanicolaou, colposcopy, histological.

¹ Facultad de Medicina UACH, Av. Colón 1003, Col. Obrera, Chihuahua, Chih. 31150. Tel. 439-1846.

² Hospital General Salvador Zubirán, Av. Colón y Teófilo Borunda No 510, Chihuahua, Chih. 31150

³ SSE Chihuahua, Calle 3ª, entre Aldama y Ojinaga. Col Centro, Chihuahua, Chih. 31000

⁴ Facultad de Zootecnia y Ecología UACH, Periférico Francisco R. Almada kilómetro 1. Chihuahua, Chih.

⁵ Facultad de Derecho UACH, Cd. Universitaria, Chihuahua, Chih. 31220

⁶ Dirección electrónica del autor de correspondencia: ileal@uach.mx

Introducción

Anivel mundial, el CaCu es el segundo tipo de cáncer más frecuente en mujeres. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año 500,000 mujeres en el mundo desarrollan cáncer cervical y 270,000 mueren por esta causa; 80 % de estas muertes ocurren en países en vías de desarrollo (Parkin *et al.*, 1993; WHO, 2002). Los rangos de incidencia de esta enfermedad varían de 10-20 en 100,000 mujeres (Suárez *et al.*, 2001). El Instituto Nacional de Cancerología de EUA predijo para el 2008, 11,070 nuevos casos de CaCu invasivo, y algunos investigadores mencionan que la cifra es cuatro veces mayor para el CaCu *in situ*, mientras que para casos de mortalidad se esperaban 3,870 mujeres en el año 2008 (ACS, 2008).

En México el número de mujeres mayores de 25 años que murieron por CaCu en el año 2000 fue de 4,594, mientras que para el 2006 se reportaron 4,114, con tasas de mortalidad de 19.2 y 14.6 por cien mil mujeres de 25 años y más, respectivamente. Esto representa una disminución de 24.2 % en la mortalidad por CaCu en el periodo (SSA, 2008). Otros investigadores muestran que en el año 2000 se observó, a nivel nacional, un riesgo 23 % mayor de morir por CaCu en mujeres que residen en el área rural respecto a las del área urbana, aunque para el 2006 la cifra cambió, registrándose un riesgo de 6 % mayor en el área rural con respecto a la urbana (Palacio-Mejía, *et al.*, 2009).

En el estado de Chihuahua murieron 130 mujeres en el año 2007 por CaCu (SSE-Chih., 2006). Los cambios pre invasivos del cérvix generalmente aparecen 10-15 años antes que el carcinoma invasivo. Los métodos de diagnóstico han ayudado a bajar la frecuencia de CaCu invasivo, como son el Papanicolaou y la colposcopia. En México se han organizado programas de detección oportuna mediante la prueba de Papanicolaou desde 1974, con el programa de acción para la prevención, diagnóstico y tratamiento del CaCu 2001-2006, para disminuir la mortalidad por este tipo de neoplasia (salud.gob.mx); sin embargo, el CaCu sigue siendo una de las primeras causas de mortalidad en mujeres mexicanas (Lazcano-Ponce, *et al.*, 1997). En México, ha sido difícil establecer y mantener un programa de tamizaje efectivo para un

pronóstico eficaz de lesiones que llevan a CaCu (Lazcano-Ponce *et al.*, 2006). Un programa de detección oportuna, un buen entrenamiento en la toma de muestra, diagnóstico y tratamiento adecuados son factores que hacen que un programa obtenga los resultados esperados, sin embargo, en las zonas rurales de México aún existe un inadecuado acceso a los métodos de diagnóstico, incluyendo el Papanicolaou (Gutiérrez-Trujillo *et al.*, 2006; Hidalgo-Martínez, 2006).

Es importante recordar los términos de sensibilidad y especificidad en las pruebas diagnósticas, la sensibilidad muestra la proporción de sujetos enfermos correctamente identificados por un método determinado, mientras que la especificidad reconoce, correctamente, a los sujetos sanos (Zivadinovic *et al.*, 2005; Ruiz *et al.*, 2001). Los grados de confianza de las pruebas de diagnóstico varían dependiendo del método utilizado, sin embargo, una vez que se tiene el estadio de la enfermedad, se han reportado rangos de sensibilidad del estudio citológico que varían entre 64 % y 88 %, mientras que para el método colposcópico llega a ser mayor del 90 %. Estas dos metodologías se complementan y aumentan el grado de confianza casi al 100 % (Gullatto, 1997; Zivadinovic *et al.*, 2005). En cuanto a la especificidad, los resultados varían, esperándose alta para la citología y baja para la colposcopia (57 %) (Zivadinovic *et al.*, 2005). El tercer método es el histopatológico, que

tiene diez veces más posibilidades de tener un diagnóstico correcto, y que a la fecha, sigue siendo el estándar de oro (Buxton, *et al.*, 1991).

El rango de resultados falso negativos citológicos descritos varían del 24.4 % al 49 %. La colposcopia también puede dar falsos-negativos, especialmente en mujeres jóvenes tratadas con técnicas destructivas, inflamación crónica o después de una conización. Si se combina la colposcopia con la citología, la detección de lesiones aumenta hasta un 15.3 % (Ward, 1994). Con frecuencia, la intensidad colposcópica o la imagen citológica no concuerda con el diagnóstico histopatológico, debido a detalles técnicos, como puede ser elegir un sitio no adecuado para tomar la biopsia, entre otros (Buxton *et al.*, 1991).

La raza puede influir en las condiciones de vida y las creencias sobre la importancia del monitoreo del cáncer, esto puede favorecer tanto la demora, como la irregularidad en las revisiones médicas en mujeres (Hidalgo-Martínez, 2006).

El objetivo de este estudio fue determinar la sensibilidad y especificidad de las pruebas Papanicolaou y colposcopia, tomando como estándar de oro el resultado histológico en dos muestras de mujeres chihuahuenses: mestizas y tarahumaras, siendo todas pacientes de la Clínica de Colposcopia del Hospital General Dr. Salvador Zubirán de la ciudad de Chihuahua.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en la Clínica de Colposcopia del Hospital General Dr. Salvador Zubirán de la ciudad de Chihuahua, durante los veranos del 2007 y 2008. Un total de 365 pacientes aceptaron participar en el estudio de forma voluntaria para lo que expresaron su consentimiento por escrito una vez que se les explicó su propósito. Las pacientes ya tenían un diagnóstico citológico previo y fueron enviadas a la Clínica de Colposcopia para su valoración, como parte del seguimiento de rutina. El resultado histopatológico se recuperó

en el mismo sitio. Es importante mencionar que los resultados de colposcopia en la etnia tarahumara fueron revisados por un solo especialista, debido a que las tarahumaras son referidas al Hospital General al turno de la mañana, mientras que en la muestra de mestizas participaron, el mismo especialista, y otros dos médicos de otros turnos.

Los estudios de Papanicolaou y colposcopia se basan en la clasificación de Richart (1990) (Cervical Intraepithelial Neoplasia= Neoplasia Intraepitelial Cervical):

NIC I – VPH displasia leve (pocas células anormales) y presencia de virus de papiloma humano.

NIC II - displasia moderada a marcada

NIC III – displasia severa a carcinoma-*in-situ*

Para algunos análisis se separaron los resultados en dos grupos: bajo riesgo, que incluyó a los casos de cervicitis, NIC I e infección con VPH; y alto riesgo, que incluyó a los casos de NIC II, NIC III y cáncer.

Análisis de resultados

Se determinó la prevalencia de las distintas lesiones cervicales en cada etnia con respecto a cada método de diagnóstico, y se utilizó el valor de la χ^2 y el Coeficiente de Contingencia para medidas simétricas nominales a fin de determinar diferencias significativas.

A fin de probar las características operativas de las pruebas de Papanicolaou y colposcopia por separado, y usando el análisis histológico como criterio, se obtuvo la sensibilidad [$pr(T+|D+)$], así como la especificidad [$pr(T-|D-)$] de cada prueba. Los porcentajes que arrojaron estos dos análisis para cada prueba se describen separando los correspondientes a cada uno de los diagnósticos obtenidos: Cervicitis, NIC I, NIC II, NIC III y cáncer.

Así, para obtener la sensibilidad se calculó la probabilidad condicional de que una paciente

con displasia resultara positiva [pr(T+| D+)], con base en el Papanicolaou, y por separado, se calculó esa misma probabilidad con base en la colposcopia. Así mismo, se obtuvo la especificidad de cada una de las pruebas de Papanicolaou y de colposcopia, calculando la probabilidad condicional de que una paciente sin displasia resultara negativa [pr(T-| D-)] en cada prueba, usando también el análisis histológico como criterio. Estas probabilidades se expresan como porcentajes para los casos diagnosticados acertadamente por cada prueba, tomando como criterio los resultados de histopatología.

Para el análisis por etnia, se obtuvieron las proporciones de falsos negativos [pr(T+| D+) + pr(T-| D+) = 1.0], y de falsos positivos [pr(T-| D-) + pr(T+| D-) = 1.0] por separado para las colposcopias, y para los Papanicolaou de cada una de las muestras de mestizas y de tarahumaras.

Resultados

Se recolectaron muestras de 365 mujeres, 319 mestizas (87.4 %), y 46 tarahumaras (12.6 %), con edades de 14 a 71 (media = 35.21 StDv. = 11.9350) años. Se lograron obtener 339 resultados de análisis citológico, 344 de colposcopia y 350 resultados histopatológicos.

La prevalencia de lesiones cervicales entre los dos grupos étnicos estudiados muestra un mayor número de lesiones NIC I y cáncer en mestizas, y un mayor número de lesiones NIC II y III en tarahumaras; aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas en los resultados obtenidos con el análisis histopatológico [$c^2(350,4) = 6.534$; p .163] [Coeficiente de Contingencia (350,4) = .135; p 0.163] (Figura 1).

Los resultados de prevalencia de las lesiones cervicales, de los 339 casos considerados para el análisis citológico tampoco mostraron diferencias significativas entre las etnias [$c^2(339,4) = 6.806$; p 0.147] [Coeficiente de Contingencia (339,4) = .140; p

0.147]. Sin embargo, cuando se compararon los resultados de prevalencia obtenidos por el método de colposcopia, sí se observó una diferencia significativa entre las etnias, considerando 344 casos válidos para este análisis [$c^2(344,5) = 13.088$; p .023] y [Coeficiente de Contingencia = .191; p 0.023]. (Figura 2).

Figura 1. Comparación de la prevalencia de lesiones cervicales entre las dos etnias, utilizando los resultados del análisis histopatológico (p 0.163 no significativa).

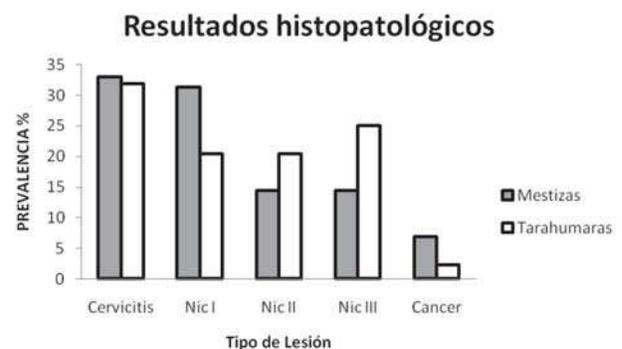
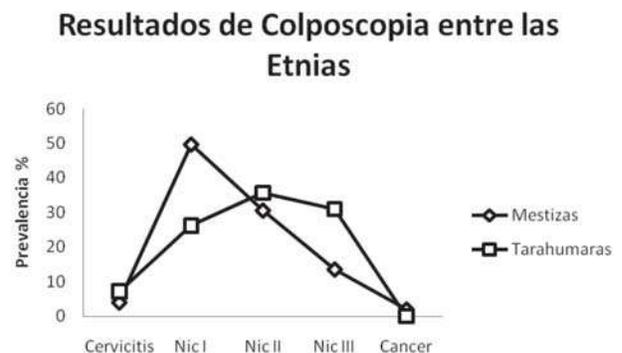


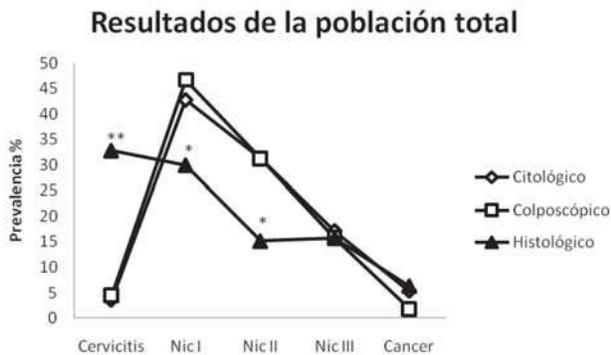
Figura 2. Comparación de las prevalencias entre etnias, determinadas por el método colposcópico (p .023, significativa).



La prevalencia de las lesiones obtenidas con cada método, en la población total, muestra diferencias significativas por los métodos citológico [$F(4,328) = 19.571$; p.000] y colposcópico [$F(4,324) = 29.105$; p.000] en los casos de cervicitis, NIC I y NIC II, al compararlos con los resultados histológicos (estándar de oro)

($p < .05$). Dichas diferencias en prevalencia fueron significativas incluso usando la corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples ($p < .05$), considerando las categorías diagnósticas nominales, como dato ordinal desde el diagnóstico sin patología hasta el de cáncer. Sin embargo, estas diferencias desaparecieron cuando se determina la prevalencia de las lesiones de NIC III y cáncer ($p > .05$); (Figura 3).

Figura 3. Comparación de las prevalencias determinadas por los métodos citológico y colposcópico vs histopatológico (** p.000, * p. < 0.05 significativas).



Con el fin de analizar las características de operación de los análisis citológicos y colposcópicos, se obtuvieron los valores de sensibilidad y especificidad para cada uno de ellos, usando el total de la muestra. Posteriormente, se obtuvieron esos mismos valores para las mestizas y para las tarahumaras en forma independiente.

Total de la Muestra. Comparando las pacientes con diagnóstico positivo identificadas mediante el análisis histopatológico con los resultados del análisis citológico, se observó que la sensibilidad del análisis citológico permitió identificar al 53.3 % de los casos ya diagnosticados como positivos en el análisis histológico. Con respecto a la especificidad, la proporción de pacientes histológicamente sanas, también identificadas por el análisis citológico, fue del 87.5 %.

Para el análisis por colposcopia se obtuvo una sensibilidad del 55.5 %, mientras que la especificidad del análisis colposcópico fue del 94.5 %.

Al comparar las frecuencias de diagnóstico entre mestizas y tarahumaras, se observó una diferencia significativa entre ellas, únicamente en el diagnóstico obtenido por colposcopia (Pearson $X^2(5,344) = 13.08$; Sig. 0.023); (Likelihood Ratio $X^2(5,344) = 13.20$; *p 0.022).

Cuadro 1. Comparación del porcentaje de sensibilidad y especificidad entre los métodos citológico y colposcópico: en la muestra total y entre los grupos étnicos.

	Total		Mestiza		Tarahumara	
	Pap	Colpo	Pap	Colpo	Pap	Colpo
Sensibilidad	53.3	55.5	53.2	55.2	53.8	83.3*
Especificidad	87.5	94.5	87.6	97.5	86.2	90

A fin de analizar esta diferencia en detalle, se calcularon los intervalos de confianza usando la fórmula $Media \pm t * ES / \sqrt{n}$, para un nivel de confianza del 95 % ($t = 3.182$ con 3 grados de libertad) en ambas muestras. Para las mestizas, se consideró la media puntual de 2.60, con su error estándar (0.049); y para las tarahumaras, la media puntual de 2.90, con su respectivo error estándar (0.144). Como se observa en el Cuadro 2, los valores mínimos y máximos de los intervalos de confianza para ambas muestras se sobreponen, sin embargo, esta sobre posición es muy pequeña.

Cuadro 2. Colposcopia: Descriptivos por raza, con intervalos de confianza.

		Intervalo de confianza al 95%						DesvStd	Varianza
		N	Rango	Mi nimo	Máximo	Media	Std. Error		
Mestiza	FR Colpo	294	4	-0.14259	0.141659	2.60	.049	.848	.719
	N	294							
Tarahumara	FR Colpo	42	3	0.020304	0.437904	2.90	.144	.932	.869
	N	42							

Discusión

Las pruebas universales para la detección de CaCu incluyen los métodos citológico, colposcópico e histopatológico, destacándose el citológico como el tamizaje masivo por su bajo costo, sencillez en el procedimiento, bajo riesgo, sensibilidad y especificidad (De Palo, 1993; Dexeus *et al.*, 1996; Hernández-Ávila *et al.*, 1994; Lazcano-Ponce *et al.*, 2006).

Los resultados de prevalencia de este estudio, tomando los resultados histopatológicos como estándar de oro, muestran diferencias no significativas entre las etnias, que posiblemente reflejan diferencias en el acceso a los servicios, atribuibles a la diversidad cultural implicada al menos en lenguaje (los prestadores de servicios de salud hablan español), concepción acerca de la salud y la prevención de enfermedades (perspectiva concordante con las mestizas), así como a la ubicación geográfica (mayor lejanía y dificultad de transporte de las tarahumaras), en detrimento de las tarahumaras en comparación con las mestizas.

La sensibilidad está dada por los falsos negativos, y representa la proporción de personas enfermas, correctamente identificadas, con respecto al total de personas enfermas. Los resultados en la muestra total muestran una baja sensibilidad tanto en las pruebas citológicas como colposcópicas, comparado con los resultados de Zivadinovic *et al.* Sin embargo, la sensibilidad del Papanicolaou en nuestras muestras (53.3 %) fue mayor a la reportada por Zamudio *et al.* (41 %) en muestras del IMSS; mientras que la especificidad de 86 % es similar a la que reportamos (87.5 %). La especificidad del método colposcópico de Zamudio *et al.* fue del 66 %, en nuestro caso, del 94.5 %. Ambos trabajos muestran la misma tendencia en ambas metodologías, baja sensibilidad y mayor especificidad (Zamudio *et al.*, 2001). No esperábamos diferencias entre las etnias, ya que la finalidad del estudio era evaluar la eficacia

metodológica para el diagnóstico de CaCu, sin embargo, observamos diferencias en la prueba colposcópica, resultando una mayor sensibilidad en la etnia tarahumara, del 83 %, mostrando una diferencia significativa con respecto a la etnia mestiza, lo cual puede explicarse porque las colposcopias de las mujeres tarahumaras fueron valoradas por un mismo especialista.

Por otro lado, la especificidad está dada por los falsos positivos, indica el potencial de la prueba para detectar, correctamente, a las personas sanas, observando. Los resultados de la muestra total se calculó un 87.5 % de especificidad para la prueba citológica y un 94.5 % para la prueba colposcópica. Los resultados de especificidad por etnias, fueron similares para ambas pruebas. Una prueba de detección es válida si clasifica correctamente a las personas sanas de las enfermas (González *et al.*, 1992; Bonita *et al.*, 1993). Diversos estudios muestran que las pruebas citológicas (Papanicolaou convencional) muestran una baja sensibilidad y alta especificidad, nuestros resultados muestran dicha tendencia, aunque la sensibilidad de 53.3 % es más baja de la reportada por otros autores (61.2 % - 88 %) (Gullatto, 1997; Zivadinovic *et al.*, 2005). En la colposcopia, que es un método de diagnóstico subjetivo, se esperaría una mayor sensibilidad, hasta del 96 % y una baja especificidad (57 %) (Zivadinovic *et al.*, 2005), en nuestro caso, los resultados de colposcopia se comportaron igual que los citológicos, es decir, baja sensibilidad (55.5 %) y mayor especificidad (94.5 %).

En cuanto a la concordancia de resultados, es decir, los verdaderos positivos y verdaderos negativos en la población total, los citológicos con histológicos mostraron una concordancia del 80.2 %, y entre colposcópicos e histológicos fue del 86.4 %. Al separar por etnias, en mestizas la concordancia citológica-histológica fue del 80.6 %, mientras que la colposcópica-histológica fue del 88.17 %. En tarahumaras, los resultados fueron del 76.2 % y 66.7 % respectivamente. Los porcentajes de concordancia, considerando a la población total

y en el grupo de mestizas, son acordes con estudios de otros grupos, como el de Pérez Espinoza, observando concordancias bajas en el análisis colpo-histológico del grupo de tarahumaras, lo cual pudiera deberse a que la muestra es de menor tamaño (Pérez Espinoza *et al.*, 2007).

Debemos considerar que existen diversos factores que interfieren en los resultados de sensibilidad y especificidad, incluyendo el número de turnos que existan en la Clínica de Displasia, ya que cada turno tiene a un médico responsable distinto, la experiencia del clínico, la zona adecuada de muestreo, detalles técnicos, experiencia del patólogo en la interpretación de las lesiones, entre otros (Buxton *et al.*, 1991). Consideramos que este estudio es de importancia para los Servicios de Salud de Chihuahua, dado que constantemente se planean estrategias para mejorar la calidad de los servicios, y se invierte tiempo, dinero y esfuerzo por obtener un diagnóstico temprano que permita prevenir el CaCu en las mujeres de Chihuahua. Este análisis podría servir de referencia para tomar medidas que ayuden a minimizar la interferencia de los factores antes mencionados, que finalmente repercuten en el diagnóstico adecuado.

Conclusiones

Los programas de prevención para el CaCu incluyen metodologías de diagnóstico sencillas, de bajo costo y que puedan incluir a poblaciones grandes. Con la pura metodología del Papanicolaou se ha logrado disminuir considerablemente el CaCu, a pesar de que se reconoce que es una prueba de baja sensibilidad y alta especificidad. En cuanto a la colposcopia, que es una metodología que debe complementar al Papanicolaou, pero que requiere de un equipo de mayor costo y entrenamiento de sus usuarios, se espera una mayor especificidad y menor sensibilidad, nuestros resultados en la población total se comportaron en forma inversa. Sin embargo cuando se analizaron los datos por etnias,

observamos que en la colposcopia aumentó la especificidad en la etnia mestiza, y la sensibilidad se incrementó significativamente en la etnia tarahumara. Nuestras observaciones pueden ayudar a que los Servicios de Salud identifiquen los factores que eviten la detección oportuna de las mujeres con riesgo a desarrollar CaCu y apliquen medidas favorables que permitan llegar a la meta deseada que es disminuir el CaCu en nuestras mujeres. Finalmente, aunque no es el objetivo de este estudio, es importante destacar el bajo alcance de los programas de prevención que se tiene en la etnia tarahumara, lo cual es necesario mejorar en nuestro sistema de salud.

Agradecimientos

Agradecemos a los alumnos de la Facultad de Medicina que participaron en los 5º y 6º Encuentros con la Ciencia (Oralia Herrera, Silvia Salinas, Carlos Domínguez, Luis R. Cano-Del Val, Carlos Burciaga-Flores, Dahyr Olivas-Medina, María de Jesús Nañez-De León, Carlos Estrada-Ochoa (Facultad de Medicina) Cynthia Guerrero, Spyridon Moraros, Andrea Rodríguez (UTEP)), ya que sin ellos no hubiera sido posible completar información valiosa del proyecto. A los Directivos de nuestra Facultad por su apoyo. Al personal de la Clínica de Displasias del Hospital General Salvador Zubirán de la ciudad de Chihuahua por su siempre disponibilidad y amabilidad. A los Servicios de Salud de Chihuahua por su apoyo con información y sobre todo abriéndonos las puertas para lograr esta parte del estudio.

Literatura citada

- ACS: Cancer Facts and Figures 2008. Atlanta, Ga. *American Cancer Society*.
- BONITA, R., Beaglehole R. y Kjellstorm T. 1993. Epidemiología Básica, Organización Panamericana de la Salud. 87-101p.
- BUXTON, E. J., and Luesley D. 1991. Colposcopically directed punch biopsy a potentially misleading investigation. *Br J Obstet Gynecol* 98:1273
- DE PALO, G. 1993. Colposcopia y Patología del Tractus Genital Inferior. Editorial Médica Panamericana 35p.
- DEXEUS, Trias de Bes, and Ponce Sebastián J. 1996. Sinopsis de Oncología Ginecológica Colposcopia, Editorial Masson 61 – 66p.

- GONZÁLEZ-MERLO, J., González-Bosquet J., and González-Bosquet E. 1992. Lesiones Premalignas del cuello uterino. *Oncología Ginecológica*, Editorial Masson.87-144p.
- GULLATTO, G. 1997. Cytology, histology and colposcopy in the diagnosis of neoplastic noninvasive epithelial lesions of the cervix. *Eur J Gynecol Oncol* 18:36-8.
- GUTIÉRREZ-TRUJILLO, G., Martínez-Montañez O. G., Fernández-Garate I. H., Mejía-Rodríguez I., Reyes-Morales I. 2006. Análisis del descenso de la mortalidad por cáncer cervicouterino en el IMSS, 1991-2005. *PREVENIMSS* 1(44).
- HERNÁNDEZ-ÁVILA, M., Lazcano-Ponce, E. C., Alonso de Ruiz P., López-Carrillo L., Rojas-Martínez R. 1994. Evaluación del programa de detección oportuna del cáncer del cuello uterino en la ciudad de México: un estudio epidemiológico de casos y controles con base poblacional. *Gac Med Mex* 130:201-9.
- HIDALGO-MARTÍNEZ, A. C. 2006. El cáncer cérvico-uterino, su impacto en México y el por qué no funciona el programa nacional de detección oportuna. *Rev. Biomed*, 17:81-84.
- LAZCANO-PONCE, E. C., Rascon-Pacheco R. A., Lozano-Ascenci R., Velasco-Mondragón H. E. 1997. Mortality from cervicalcarcinoma in Mexico: Impact of screening, 1980-1990. *Salud Pública Méx* 39:266-73.
- LAZCANO-PONCE, E., Yunes-Díaz E. M. 2006. Evolución de las pruebas de tamizaje para la detección oportuna de cáncer. *Gamo* (5)4:91-92.
- PALACIO-MEJÍA, L. S., Lazcano-Ponce E, Allen-Leigh B, y Hernández-Ávila M. 2009. Diferencias regionales en la mortalidad por cáncer de mama y cérvix en México entre 1979 y 2006. *Salud Pública Méx* 51(2):208-19.
- PARKIN, D. M., Pisani P, Ferlay J. Estimates of the worldwide incidence of eighteen major cancers in 1985. *Int J Cancer*. 1993; 54:594-606.
- PÉREZ-ESPINOSA, R. A. 2007. Correlación citocolpohistológica de los casos operados por radiocirugía en el Hospital América Arias en el año 2006. *Med Clin* (Barcelona); 2 (1): 21-6.
- SECRETARÍA DE SALUD. Programa de Acción Específico 2007-2012, cáncer cérvicouterino. 2008. Primera edición. http://www.generosaludreproductiva.salud.gob.mx/descargar/paes/Paes-CNEGSR-junio09/junio_cacu.pdf
- RICHART, R. M. 1990. A modified terminology for cervical intraepithelial neoplasia. *Obstet Gynecol*. 75:131-133.
- RUIZ-MORALES, A., Gómez Restrepo C., y Londoño Trujillo D. 2001. Editores académicos. Investigación Clínica: Epidemiología Clínica Aplicada. 1ª Edición. Centro Editorial Javariano.
- SSE DE CHIHUAHUA. 2006. Datos del Departamento de Epidemiología Reproductiva.
- SUÁREZ, E. Prieto M, Rojas I, Fernández B, Prado R, and Olfos P. 2001. Programa Nacional de Cáncer Cervicouterino. *Rev Chil Obstet Ginecol* 66(6): 480-91.
- THE WORLD HEALTH REPORT. Cervical Cancer Screening in Developing Countries. Report of WHO Consultation 2002. http://www.who.int/cancer/media/en/cancer_cervical_37321.pdf.
- WARD, K. A. 1994. The role of early colposcopy in the management of the females with first anogenital warts. *Int J SID-AIDS* 5:343-5.
- ZAMUDIO-ANDRADE, A., Zepeda-Zaragoza J., Rodríguez-Blanco B., Tenorio-Marañón F. R. 2001. Evaluación del Papanicolaou y la colposcopia en el diagnóstico de la infección por el virus del papiloma humano. *Rev. Fac med UNAM* 44(1):5-7.
- ZIVADINOVIC, R., Radovic M., Lilic V., and Petric S. 2005. Grading the Severity of Preinvasive Changes of the Uterine Cervix by Colposcopy and Exfoliating Cytology. *Facta Universitatis series: Medicine and Biology* Vol 12, No 1, 55-59. 

Este artículo es citado así:

Leal-Berumen, I., C. Villalobos-Figueroa, R. Wisbrun-Castillo, V. Moreno-Brito, A. Licón-Trillo, R. Lechuga-Valles, E. González-Rodríguez e I. Alcalá-Sánchez. 2010. *Sensibilidad y especificidad de pruebas diagnósticas para CaCu: Muestras de mestizas y tarahumaras del Hospital General Salvador Zubirán de la ciudad de Chihuahua. TECNOCENCIA Chihuahua* 4(2): 97-105.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

IRENE LEAL SOLÍS (IRENE LEAL-BERUMEN EN PUBLICACIONES). Terminó su licenciatura en 1987, año en que le fue otorgado el título de Químico Bromatólogo, y en 1988 el título de Químico Bacteriólogo Parasitólogo de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en la Cd. de México, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Biología Molecular en 1992 por el CINVESTAV-IPN. Realizó su doctorado en la Universidad de McMaster, Ontario, Canadá obteniendo su Ph.D. en 1996 del programa Molecular-Virology-Imunology. Se incorpora a la Facultad de Medicina de la UACH en junio de 1995 como profesor de tiempo completo, con el sistema de repatriación de CONACyT, logrando estar en el SIN nivel I (1997-2001). Es profesor titular de las materias de Medicina Genómica, Mecanismos de Defensa e Investigación Biomédica. Fue presidente del Comité de Ética de ICIPRON (2004-2005), ha participado de coordinador de varios estudios farmacéuticos (BMS, Wyeth y Sanofi-Aventis). Ha dirigido una tesis de licenciatura, dos de maestría, una de especialidad. Es autora de alrededor de 30 artículos científicos, 2 capítulos de libros. Ha participado en 12 proyectos de investigación con financiamiento externo e interno, siendo responsable en la mayoría de ellos y obteniendo algunos premios en los trabajos presentados por sus alumnos. Ha participado como evaluador en varios foros nacionales e internacionales, ha presentado conferencias por invitación en la Universidad del Bosque, Bogotá, Colombia. Participó como editor invitado en la revista Latinoamericana de Artroscopia y Traumatología del Deporte (2008-2009). Tiene perfil PROMEP y Estímulos al Desempeño Docente.

IMELDA G. ALCALÁ-SÁNCHEZ. Terminó su licenciatura en 1977, año en que le fue otorgado el título de licenciada en Psicología con área de especialidad en Clínica, por la Facultad de Psicología de la Universidad Veracruzana (UV). Terminó estudios de Maestría en Análisis de la Conducta, con especialidad en Medicina Conductual, en la UNAM en 1985; así mismo obtuvo el grado de Maestría en Ciencias del Deporte, Opción Psicología, en la UACH en 1996. Obtuvo el grado de Doctorado en Psicología, con especialidad en Salud en la Universidad de Texas en El Paso, haciendo una residencia en el Centro de Investigación en Nutrición, en UT School of Public Health, Houston, USA. Desde 1986 labora en la UACH y posee la categoría de académico titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1986 (candidato), y actualmente cuenta con Nivel 1 (2008-2010). Su área de especialización es Psicología de la Salud, y Medicina Conductual. Ha dirigido 2 tesis de licenciatura, más de 20 de maestría y 3 de doctorado. Es autora de más de 30 artículos científicos, más de 100 ponencias en congresos, y 2 capítulos de libros científicos; además ha impartido más de 40 conferencias por invitación y dirigido más de 10 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales), es árbitro de tres revistas científicas de circulación internacional.

VERÓNICA MORENO BRITO. Terminó su licenciatura en 1995, año en que le fue otorgado el título de Químico Farmacéutico Biólogo de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Realizó su posgrado en el CINVESTAV-IPN en la Cd. de México, obteniendo el grado de Maestro en Ciencias en 1999 y el doctorado en 2004 en el departamento de Patología Experimental con las disciplinas de bioquímica y biología molecular. Se incorpora a la Facultad de Medicina de la UACH en agosto de 2005 como Profesor Académico de tiempo completo. Es profesor titular de las materias de Bioquímica (Procesos Químicos de la Vida), Universidad y Conocimiento e Investigación Biomédica. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores en la categoría de candidato 2007-2009. Sus áreas de investigación son el estudio de genes relacionados con la diferenciación de células madre y el diagnóstico molecular de HPV. Ha dirigido 2 tesis de licenciatura y 2 de maestría. Es autora de alrededor de 10 artículos científicos y ha participado en más de 15 ponencias en congresos. Participa en 5 proyectos de investigación con financiamiento externo e interno, siendo responsable en dos de ellos, obteniendo premio en uno de los trabajos presentados por sus alumnos. Ha participado como evaluador en varios foros científicos y tecnológicos y es Profesor con Perfil PROMEP.

EVERARDO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ. Término su licenciatura en 1994 en el que le fue otorgado el título de licenciado en Biología, por el Instituto Tecnológico de Cd. Victoria Tamaulipas. Realizó su posgrado en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados México D.F. donde obtuvo el grado de Maestría en 1998 y Doctorado en 2001 en el área de Genética y Biología Molecular. Ha laborado en la iniciativa privada como responsable de la División de Biología Molecular de la Reproducción en el Hospital Ángeles de Pedregal en México D.F. Desde 2004 labora en el Departamento de Reproducción y Mejoramiento Genético de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua y posee la categoría de Académico Titular C. Miembro del SNI nivel I y Perfil PROMEP. Ha dirigido 3 tesis de licenciatura, 3 de maestría y 4 de doctorado, autor de 10 artículos científicos, 35 ponencias en congresos nacionales e internacionales 7 por invitación, ha dirigido 7 proyectos de investigación financiados por fuentes externas y ha sido merecedor de 3 reconocimientos. Miembro de sistema de evaluadores de proyectos de investigación del CONACYT (Ciencia Básica, Mixtos y Sectoriales).

ANGEL LICÓN TRILLO. Obtiene la Licenciatura en Químico Bacteriólogo Parasitólogo en 1982 en la Facultad de Ciencias Químicas de la UACH, donde obtiene el grado de Maestro en Ciencias en Inmunología en 1991. Posteriormente se le otorga el grado de Doctor en Ciencias en Inmunología por la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1997. Desde el año de 1982 labora en la Facultad de Medicina de la UACH, y actualmente tiene el nombramiento de Profesor de Tiempo Completo titular C. Su área de especialización abarca la microbiología, la parasitología y la inmunología. Ha fungido como director de tesis de licenciatura en dos ocasiones en la Facultad de Ciencias Químicas de la UACH, y en una tesis de maestría en el Instituto Tecnológico de Chihuahua. Es autor de 16 artículos científicos, 4 capítulos de libro y más de 100 ponencias en congresos nacionales e internacionales. Ha dirigido 15 proyectos de investigación financiados por fuentes externas y con fondos propios de la Facultad de Medicina de la UACH.

RUTH LECHUGA VALLES. Terminó su licenciatura en 2005, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción en la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en la Facultad de Zootecnia de la Cd. de Chihuahua, Chih., obteniendo el grado de Maestro en Ciencias con Área Mayor en Reproducción y Genética Animal en 2010. Se incorpora a la Facultad de Medicina de la UACH en junio de 2007 como Auxiliar de Investigación y docencia en el Laboratorio de Biología Molecular y Proteómica Celular. Ha participado en encuentros con la ciencia realizados en verano en la misma Facultad de Medicina (2008 y 2009) donde funge como instructor, así mismo se encarga de entrenar y apoyar las tesis que se realizan en el laboratorio. Actualmente participa como instructor adjunto en la materia de Investigación Biomédica para la enseñanza de las herramientas básicas de Biología Molecular. Participa en el trabajo técnico de proyectos relacionados con el estudio de genes relacionados con la diferenciación de células madre y el diagnóstico molecular de HPV. Ha participado en 2 congresos internacionales y 2 nacionales, en donde se han obtenido dos premios respectivamente.

Efecto del ácido giberélico sobre la producción hidropónica del tomate variedad Gabriela

Influence of the gibberellic acid over the hydroponic harvest production of the Gabriela tomato

PAMELA RAMOS RIVERA¹, MARIO AZAEL RUBIO ROMERO¹, G. SONIA RODRÍGUEZ DE LA ROCHA^{1,3}, S. MARGARITA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ², VÍCTOR SANTANA RODRÍGUEZ¹ Y ARMANDO QUINTERO RAMOS¹

Resumen

La escasez de agua en el estado de Chihuahua y la necesidad de elevar la producción de las cosechas, son factores que han propiciado la adopción de sistemas de cultivo más eficientes, tal como la hidroponía. En la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, se estableció un cultivo de tomate variedad "Gabriela" bajo condiciones de invernadero y utilizando el método hidropónico. Como sustrato se usó arena y riego por goteo. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, donde cada bloque consistió en nueve plantas. El experimento se realizó durante el periodo del 21 de febrero al 27 de Julio 2007. El estudio tuvo como objetivos encontrar la concentración óptima de ácido giberélico para una mayor producción de tomate; y obtener las concentraciones de los nutrientes N, K, Ca y P en el tomate cultivado, con relación a los diferentes tratamientos. Se compararon cuatro concentraciones de ácido giberélico: 0, 20, 40 y 60 ppm; el manejo de las plantas fue similar, aplicándose la misma solución nutritiva. Se observó que con la aplicación de 40 ppm de ácido giberélico la producción de tomate fue 19.6 % superior al testigo, siendo además el mejor tratamiento del experimento.

Palabras clave: fito regulador, invernadero, cultivo, productividad.

Abstract

Water scarcity in the state of Chihuahua and the need to increase crop production, are factors that have led to the adoption of more efficient farming systems, such as hydroponics. In the Faculty of Chemical Sciences of the Autonomous University of Chihuahua, has established a tomato crop variety "Gabriela" under greenhouse conditions and using the hydroponic method. Sand was used as substrate, and drip irrigation. A randomized block with three replications was used, where each block consisted of nine plants. The experiment was conducted from February 21 to July 27, 2007. The objective of this work was to find the optimal concentration of gibberellic acid to a greater production of tomatoes, and obtain the concentrations of N, K, Ca and P nutrients in the cultivated tomato according to the different treatments. We compared four concentrations of gibberellic acid: 0, 20, 40 and 60 ppm, the plant management was similar, applying the same nutrient solution. It was noted that the application of 40 ppm gibberellic acid tomato production was 19.6% higher than the control, and is the best treatment of the experiment.

Keywords: phyto regulador, greenhouse, crop, productivity.

Introducción

La producción agrícola en Chihuahua es limitada por la poca cantidad de agua disponible, y las temperaturas extremas; además, se ve también afectada por las características físico-químicas de los suelos en algunas regiones. De acuerdo con los datos reportados en el anuario estadístico de Chihuahua 2008, la precipitación pluvial anual es de 310 a 350 mm, factor limitante para la agricultura tradicional, lo que plantea la necesidad de buscar un sistema de cultivo alternativo, como lo es la hidroponía.

¹ Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito Universitario s/n. Campus Universitario II. Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125, Apartado Postal: 669.

² Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chihuahua Núm. 6.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: rodson2@hotmail.com

Las plantas bajo este sistema requieren, para un desarrollo normal, que los elementos esenciales estén de manera disponible, en una relación óptima entre ellos, y en concentraciones suficientes para satisfacer las necesidades del cultivo (Rodríguez, 2001).

En un cultivo hidropónico se busca proporcionar todos los elementos esenciales a la planta por medio de soluciones nutritivas que los contengan en forma de aniones y cationes disueltos, que junto con una buena iluminación y suministro de CO₂ y O₂, permiten que los vegetales se desarrollen bien (Rodríguez, 2004).

El tomate es una hortaliza de suma importancia en México, la cocina mexicana lo utiliza ampliamente y su demanda aumenta constantemente. La evidencia histórica sugiere que México es el centro más importante de domesticación de tomate, hecho ampliamente aceptado en el mundo científico, ya que la utilización de formas domésticas en nuestro país tiene bastante antigüedad, y sus frutos eran bien conocidos y empleados como alimento en las culturas indígenas que habitaban la parte central y sur de México, antes de la llegada de los españoles (León, 2001).

Bajo condiciones de campo, este cultivo requiere de mucha agua para producir una cosecha de tomate. El cultivo tradicional utiliza 800 l/kg de tomate, mientras que con el sistema de hidroponía se optimiza el consumo de agua. En Holanda se han reportado 22 l/kg de tomate, y otros datos de consumo de agua con sistemas hidropónicos fluctúan de 27 a 60 l/kg (Stanghellini, 2004); el grupo de Investigación en Hidroponía de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, dirigido por la M.C. Sonia Rodríguez, encontraron, en el año 2002, que al desarrollar un cultivo de tomate utilizando como sustrato arena y riego por goteo se requieren 46 l/kg de tomate producido.

Por lo tanto, aún tratándose de un mismo cultivo como es el caso del tomate, se pueden implementar diferentes maneras de suministrar

el agua y los nutrientes que la planta requiere, así como para mejorar las condiciones climáticas del cultivo; lo anterior puede deducirse de los datos aportados por Stanghellini (2004), quien describe que en Israel y Almería, en campo, utilizando riego localizado, se requieren 60 litros de agua por kg de tomate, y 15 litros por kg de tomate en Holanda, en condiciones de clima controlado con vidrio e inyección de dióxido de carbono.

El sistema hidropónico puede realizarse al aire libre o en invernaderos; se ha observado que incrementa la producción por unidad de superficie, ya que la densidad de siembra es mayor. Además, cuando se protege el cultivo contra las inclemencias del tiempo, se puede programar la temporada de cosecha de manera que coincida con la época que se pueda obtener el mejor precio posible (Resh, 2001). La producción de tomate bajo el sistema hidropónico es muy alta, comparada con la que puede obtenerse en un cultivo tradicional. Se han obtenido buenos resultados acomodando tres plantas por metro cuadrado, lo que equivale a 30,000 plantas por hectárea, mientras que el cultivo de tomate en suelo, la densidad es de 10,000 a 15,000 plantas, dependiendo del tipo de terreno y cultivar.

Según datos aportados por Knott (1996), citado por Jensen (2001) en comparaciones de rendimiento entre los sistemas hidropónico y tradicionales, reportan, bajo el primer sistema, 550 t/ha en tomate cultivado en un periodo de once meses; en contraste, registraron una producción anual de 100 t/ha bajo el sistema tradicional. En el caso de los pepinillos, se produjeron 600 t/ha en dos cultivos al año, contra 30 t/ha en el cultivo tradicional. En el pimiento verde se obtuvieron 114 t/ha anuales realizando dos cultivos, contra 16 t/ha en el sistema tradicional. La preocupación de todo productor es elevar la productividad de su cultivo, por tal motivo, se propone la adopción de la hidroponía como un sistema de alta eficiencia productiva por unidad de área, con ahorro de agua.

La utilización de ácido giberélico permite incrementos significativos en la producción de tomate. Aunque existe poca información disponible acerca de la dosis del ácido giberélico y su relación con los factores climáticos, el uso de este biorregulador parece incrementar el amarre de flores a temperaturas altas (Rojas, 1993).

Las giberelinas, clasificadas como fitoreguladores, son hormonas que regulan el crecimiento vegetal en diversos procesos metabólicos, actúan como promotores de la regulación enzimática en el proceso de germinación, se producen en las partes jóvenes de las plantas, pero las fuentes más ricas y abundantes son las raíces y los frutos jóvenes, especialmente sus semillas (Rojas, 1993). El ácido giberélico realiza diversas funciones, entre ellas pueden citarse: Incrementa la división y la elongación celular, debido a que tras la aplicación de giberelinas se incrementa el número de células y la longitud de las mismas; estimula el desarrollo de frutos partenocárpico; además, el ácido giberélico induce el crecimiento a través de una alteración de la distribución de calcio en los tejidos (Weaver, 1985).

Aunque las sustancias naturales de crecimiento controlan generalmente el desarrollo de los cultivos, también tienen la capacidad de modificar el crecimiento e incrementar la productividad de las cosechas mediante la aplicación de sustancias exógenas, obtenidas por síntesis o a partir de microorganismos, algunas de las cuales pueden producir buenos resultados (Weaver, 1985).

El presente estudio tiene dos objetivos específicos: Encontrar la concentración apropiada de ácido giberélico para lograr una mayor producción de tomate, y obtener las concentraciones de los nutrientes N, K, Ca y P con relación a los diferentes tratamientos.

Materiales y Métodos

Material experimental. Se utilizaron los materiales listados a continuación:

- Charola de poliestireno de 128 cavidades	- Tubos de digestión
- Semilla variedad Gabriela	- Pipetas de 25 ml
- Germinasa	- 0.5 gr de tomate para cada tratamiento
- Ácido giberélico	- Ácido nítrico concentrado
- Solución nutritiva	- Agua destilada
- Bolsas de 40 x 40 cm.	- Ácido fluorhídrico
- Arena de río	- Estándar de potasio 30 y 200 ppm
- Rafia	- Estándar de calcio 1, 5 y 10 ppm
- Ganchos	- Tiosulfato de amonio
- Goteros	- Mezcla reactiva de selenio
- Aspersor	- Sulfato de sodio anhidro ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- 4 Matraz aforado 100 ml	- Hidróxido de sodio NaOH (40%)
- Probeta de 50 ml	- Ácido bórico H_3BO_3 (al 4%)
- Embudos	

Equipo. Durante la investigación, se utilizó el siguiente equipo científico:

- Espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer 3100
- Horno de digestión
- Balanza científica Chyo JL-180

Localización del experimento. El estudio tuvo lugar en el invernadero de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Se eligió el cultivar de tomate "Gabriela", el cual se cultivó utilizando el método hidropónico; utilizando arena como sustrato y aplicado riego por goteo. El invernadero se localiza en la ciudad de Chihuahua, a 1440 msnm, cuyas coordenadas son: latitud norte 28° 38' 12" y longitud oeste 106° 04' 42".

Diseño experimental. Se compararon cuatro dosis de ácido giberélico: 0, 20, 40 y 60 ppm; el experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Cada bloque consistió en nueve plantas.

Establecimiento del experimento. El experimento se inició el 21 de febrero y la cosecha tuvo lugar el 27 de Julio 2007. La siembra de la semilla se efectuó en un semillero de poliestireno de 128 cavidades, donde se hospedó la planta de tomate por mes y medio. El trasplante se efectuó humedeciendo el sustrato muy temprano, con el objeto de evitar estrés. Las plantas se regaron dos veces al día; después de un mes, la planta se guió hacia arriba utilizando un entramado de alambre donde se colgaron los ganchos que sostienen a la planta, utilizando rafia; se revisaron continuamente y cortaron los chupones o yemas axilares y se enredaron las plantas utilizando el cordón, para que la planta sólo creciera hacia arriba. El primer corte de tomate maduro se realizó a los tres meses y medio; a partir de ese momento, los cortes se realizaron periódicamente; dos meses después se suspendió el trabajo, para lo cual se quitó todo el tomate rojo y se dejó de regar, para que las plantas perdieran peso y se pudieran retirar más fácilmente.

El ácido giberélico (Biogib) se preparó y asperjó muy temprano por la mañana, cuidando que sólo el lote en cuestión fuera rociado; para lograrlo, se cubrieron con un plástico todos los lotes colindantes con el tratado. Los tratamientos se aplicaron cuando el cultivo presentaba 20 a 30 % de floración; 20 días después se efectuó otra aplicación. Lo anterior se decidió porque el crecimiento se acelera después de la aplicación, y al pasar el efecto dicho crecimiento comienza a decrecer, por lo que es necesaria una segunda aplicación.

Se analizaron también los contenidos de calcio, potasio, nitrógeno y fósforo presentes en los frutos. La solución nutritiva empleada contó con los nutrientes y concentraciones que se detallan en ppm en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición de la solución nutritiva en ppm.

Macroelementos	Símbolo	Solución (ppm)
Nitrógeno	N	200
Potasio	K	200
Fósforo	P	60
Calcio	Ca	150
Magnesio	Mg	40
Azufre	S	52
Microelementos		
Fierro	Fe	1
Manganeso	Mn	0.5
Boro	B	0.5
Cobre	Cu	0.05
Zinc	Zn	0.05

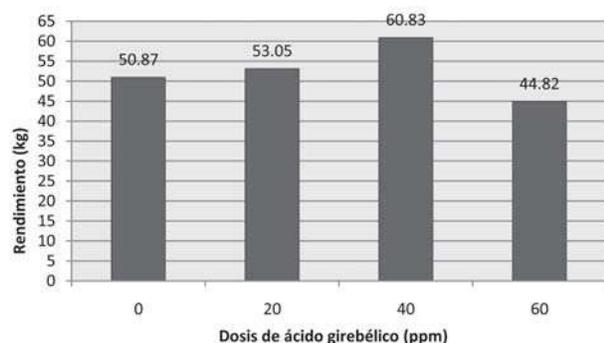
Resultados y Discusión

Los resultados pueden dividirse tomando en consideración la productividad alcanzada por los diferentes tratamientos y también con respecto a los contenidos de nitrógeno, calcio, potasio y fósforo observados en los diferentes lotes.

Como puede observarse en las Figuras 1 y 2, el mayor rendimiento bajo las condiciones prevalecientes en el invernadero, se obtuvo con la aplicación de ácido giberélico a una dosis de 40 ppm. Se observó que el rango de las concentraciones elegidas permite visualizar la variación en la productividad del tomate cultivado bajo las condiciones de invernadero, ya que tomando como referencia el testigo, hubo un incremento significativo en el rendimiento del tomate cuando las plantas fueron tratadas con 20 ppm. Este aumento fue mayor al aplicar la concentración de 40 ppm, observándose luego un decremento al utilizar 60 ppm. Por lo tanto, el rango de adición óptimo puede buscarse, para futuras investigaciones,

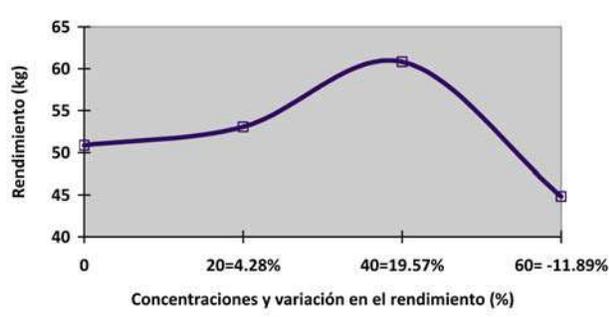
aplicando concentraciones cuyo rango fluctúe de 30 a 60 ppm aproximadamente, con el objeto de delinear con mayor precisión la curva de productividad para así poder elegir con mayor exactitud la mejor concentración.

Figura 1. Rendimiento de tomate (kg) utilizando diferentes concentraciones de ácido giberélico



Los datos anteriores son válidos para el cultivo tradicional, cuando soporta temperaturas altas como las que se observan tradicionalmente en Delicias, Camargo y Jiménez, es decir, por arriba de los 32 °C en la temporada de mayor producción de las zonas antes mencionadas.

Figura 2. Porcentaje de variación en el rendimiento con relación a las diferentes concentraciones de ácido giberélico.



Contenido de nutrientes en el fruto. Se analizaron los contenidos de calcio, potasio, nitrógeno y fósforo en el fruto, encontrándose los datos que se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido de nutrientes en el fruto por tratamiento.

Tratamiento	% Ca	% K	% N	% P
0	5.617	2.45	3.12	0.31
20 ppm	6.232	3.02	3.42	0.34
40 ppm	6.972	3.94	3.56	0.36
60 ppm	6.365	3.67	3.36	0.35

Como puede observarse en los resultados obtenidos respecto a los porcentajes de calcio, potasio, nitrógeno y fósforo contenidos en los frutos de tomate analizados, las máximas concentraciones de estos elementos corresponden al tratamiento con 40 ppm, que también mostró el mayor rendimiento. Si se comparan los contenidos obtenidos de los frutos tratados con ácido giberélico respecto a los no tratados, se puede observar que los contenidos de estos últimos fue menor, lo que sugiere que el fitoregulador empleado ayudó a una mejor translocación de nutrientes hasta el fruto.

Como puede verse, la aplicación del ácido giberélico y particularmente del calcio, puede ser una buena alternativa para evitar la aparición de frutos de tomate que muestran la deficiencia en este nutriente. Aunque el calcio esté presente en la solución nutritiva, ya que la planta transpira mucho más y evita el gasto de energía en transportar elementos de baja movilidad como el calcio; una deficiencia de este mineral es causa de la pérdida de muchos frutos en temporada de calor, puesto que la costra que se forma da a estos una apariencia muy desagradable (Figura 3). Esto sucede a menudo incluso en cultivos de tomate efectuados de manera tradicional.

Figura 3. Deficiencia de calcio en frutos de tomate.



Conclusiones

Las concentraciones de 20 y 40 ppm de ácido giberélico utilizadas, inciden en la productividad del cultivo, incrementando el rendimiento en kg producidos por lote, mientras que al utilizar 60 ppm, baja el rendimiento, lo que muestra la importancia de investigar más acerca de las concentraciones ideales para el clima y la radiación solar de la entidad. Lo anterior demuestra que no deben utilizarse altas concentraciones de ácido giberélico, ya que los resultados obtenidos revelan un bajo rendimiento, incluso inferior a lo obtenido en el lote testigo.

Recomendaciones

Resulta importante efectuar futuras investigaciones para determinar si el ácido giberélico facilita el traslado de nutrientes hasta

el fruto como lo muestran los resultados de esta experiencia, puesto que ésta se efectuó en época de mucho calor y el clima del invernadero subió hasta 38 °C.

Literatura Citada

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 2009. Anuario Estadístico de Chihuahua. Gobierno del estado de Chihuahua.
- JENSEN, M. 2001. Producción Hidropónica en Invernaderos. Boletín Informativo No.12 Universidad La Molina. Lima, Perú.
- LEÓN, H. M. 2001. Manual de Cultivo de Tomate en Invernadero. Ed. Gobierno del Estado de Chihuahua.
- MITCHEL, J. W., 1973. Métodos para el estudio de hormonas vegetales y sustancias reguladoras del crecimiento. México, D.F. México. Editorial Trillas.
- NUEZ, F. 2001. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- PAPADOPOULOS, T. 2004. Hidroponía 2004, Manejo del ambiente y de los factores nutricionales para la producción de tomate de alta calidad en invernaderos. Editora Virginia Nevárez Morillón.
- RESH, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Madrid, España. Mundiprensa.
- RESH, H. M. 2004. Hydroponic Food Production. Sixth Edition Newconcept Press Mahwah, New Jersey.
- ROJAS, M. G., Ramírez H. 1993. Control Hormonal del Desarrollo de las Plantas, Fisiología, Tecnología, Experimentación. México, D. F. Limusa Noriega Editores 1993.
- RODRÍGUEZ, A. 2004. Formulación de soluciones nutritivas, Congreso Internacional de Hidroponía 2004. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- RODRÍGUEZ, R. S. 2002. Hidroponía, agricultura y bienestar. Chihuahua, México, Textos Universitarios Universidad Autónoma de Chihuahua.
- RODRÍGUEZ, R. 2001. Cultivo moderno del tomate. 2ª edición, Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- STANGHELLINI, C. 2004. Hidroponía 2004. Producción de vegetales en cultivo protegido: Manejo óptimo del microclima. Editora: Virginia Nevárez Moorillón. Universidad Autónoma de Chihuahua. Pág.:101.
- WEAVER, R. J. 1985 Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. México, D.F. México. Editorial Trillas. ①

Este artículo es citado así:

Ramos-Rivera, P., M. A. Rubio Romero, G. S. Rodríguez-De la Rocha, S. M. Rodríguez-Rodríguez, V. Santana-Rodríguez y A. Quintero-Ramos. 2010. *Efecto del ácido giberélico sobre la producción hidropónica del tomate variedad Gabriela*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 4(2): 106-112.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

GUADALUPE SONIA RODRÍGUEZ DE LA ROCHA. Es profesor-investigador de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Asesora estudiantes de licenciatura. Obtuvo su licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guadalajara recibiendo el título de Químico su maestría en la Facultad de Zootecnia de Universidad Autónoma de Chihuahua título Maestro en Ciencias área menor nutrición. Su investigación se centra principalmente en la aplicación de la Química a la producción alimentaria utilizando el método hidropónico así como en los nutrientes que dichos productos pueden aportar en la nutrición animal y de humanos. Ha impartido más de 60 cursos a la población sobre hidroponía en los estados de Chihuahua, Durango, y Sonora, a participado como organizador de 2 congresos en el área de hidroponía como maestro ponente. Es fundadora y presidente de la Sociedad Chihuahuense de Hidroponía, ha dirigido las brigadas de Servicio Social denominadas hidroponía y conservación de alimentos, que han llegado a un mínimo de 24 comunidades del estado de Chihuahua a lo largo de 14 años. Ha escrito libros, folletos y artículos así como material didáctico en el área.

VÍCTOR MANUEL SANTANA RODRÍGUEZ. Terminó su licenciatura en 1978, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Químico Bromatólogo por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Realizó su Maestría (1989) y Doctorado (1993) en la Universidad de Puerto Rico en el área de Ciencia y Tecnología de Alimentos. De 1981 a 1986 y de 1995 a la fecha labora en la Facultad de Ciencias Químicas y posee la categoría de académico titular C. Su área de especialización es la extrusión de alimentos y el estudio fisicoquímico de polisacáridos en cereales. Ha dirigido once tesis de licenciatura y veinte de Maestría. Actualmente dirige cuatro tesis de Licenciatura y tres de Maestría en colaboración con el CIAD. Es coautor, también en colaboración con el CIAD de seis artículos científicos; además ha presentado 34 ponencias orales y/o en cartel.

ARMANDO QUINTERO-RAMOS. Es profesor-investigador de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Asesora estudiantes de licenciatura y posgrado. Obtuvo su licenciatura en Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico de Los Mochis, su maestría en el Instituto Tecnológico de Durango y su doctorado en Ingeniería Bioquímica en el área de alimentos en la misma institución, con un programa conjunto con el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Cornell. Su investigación se centra en optimización de procesos y productos, fundamentándolo en estudio de los mecanismos de transferencia de masa y calor de los materiales durante el procesamiento, a través de la evaluación de propiedades físicas, químicas y sensoriales de alimentos. Con un enfoque especial en la evaluación de las propiedades de textura de los materiales procesados. Desarrolla procesos que permitan incrementar la vida de anaquel y el valor agregado en alimentos o subproductos de origen vegetal.

Guía para autores de escritos científicos

Política editorial

Son bienvenidos manuscritos originales e inéditos de tipo científico, tecnológico o humanístico, los cuales deberán estar escritos en un lenguaje accesible a lectores con formación profesional, atendiendo a los principios de: precisión, lógica y claridad. Todo manuscrito recibido es revisado en primera instancia por el Comité de Editores Asociados, para asegurar que cumple con el formato y contenido establecido por las normas editoriales de *TECNOCIENCIA Chihuahua*. Una vez revisado el escrito, los editores asociados determinarán si vale la pena publicarlo; enseguida se le regresa al autor responsable para que incorpore las observaciones y sea editado. Posteriormente, es sometido a un estricto arbitraje bajo el sistema de doble ciego, realizado por dos especialistas en el área del conocimiento. Para su evaluación se aplican los criterios de: rigor científico, calidad y precisión de la información, relevancia del tema y la claridad del lenguaje.

Los árbitros prestarán especial atención a la originalidad de los escritos, es decir, revisarán que dicho manuscrito sea producto del trabajo directo del autor o autores y que no haya sido publicado o enviado algo similar a otras revistas. Los artículos deben presentar: un análisis detallado de los resultados así como un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva del tema investigado o ser de gran impacto social. Solo serán aceptados trabajos basados en encuestas donde se incluyan mediciones, organización, análisis estadístico, prueba de hipótesis e inferencia sobre los datos obtenidos del estudio.

Lineamientos generales

Se aceptan manuscritos originales e inéditos, producto de la creatividad del o los autores, cuyos resultados de investigación no hayan sido publicados parcial o totalmente (excepto como resumen de algún congreso científico), ni estén en vías de publicarse en otra revista (nacional o internacional) o libro.

Para tal fin, el autor y coautores deberán firmar la carta de autoría, donde declaran que su trabajo no ha sido publicado o enviado para su publicación simultáneamente en otra revista; además, en dicho documento señalarán estar de acuerdo en aceptar las normas y procedimientos establecidos por el Consejo Editorial Internacional de la Revista *TECNOCIENCIA Chihuahua*, especificando el nombre del investigador a quien se dirigirá

toda correspondencia oficial (autor de correspondencia).

Se aceptan artículos en español o inglés, sin embargo, tanto el título como el resumen deberán escribirse en ambos idiomas. El contenido puede ser cualquier tema relacionado con algunas de las áreas del conocimiento definidas previamente o que a juicio del Consejo Editorial Internacional pueda ser de interés para la comunidad científica.

El Comité Editorial del área a la que se envíe el manuscrito, revisará que los resultados obtenidos sean de impacto regional, nacional o internacional. Además, prestará atención a la metodología en la que se sustenta la información y que esta sea adecuada y verificable por otros investigadores. No se aceptarán artículos basados en pruebas de rutina, o cuyos resultados experimentales se obtuvieron sin un método estadístico apropiado.

Cuando un artículo presente resultados experimentales con un alcance limitado puede recomendarse su publicación como una Nota Científica. Reconocemos que una mejora de la calidad de la revista es responsabilidad tanto del Consejo Editorial Internacional como de los autores.

Manuscritos

Se entregarán cuatro copias impresas y una versión electrónica del manuscrito. También podrán remitirse los manuscritos a las direcciones electrónicas de la revista que fueron mencionadas anteriormente pero la carta de pre-

sentación, firmada debidamente por los autores, deberá entregarse personalmente en las oficinas de la Dirección de Investigación y Posgrado; también puede escanearse para su envío por correo electrónico o remitirse por fax [(614) 439-1823]. Todo manuscrito deberá acompañarse con la carta de autoría firmada por todos los autores, cuyo formato es proporcionado por la revista. En la carta deberá indicarse el orden de coautoría y el nombre del autor de correspondencia con la revista, para facilitar la comunicación con el Editor en Jefe. Esta carta debe incluir datos completos de su domicilio, número de fax y dirección electrónica.

Formato

El manuscrito científico tendrá una extensión máxima de 25 cuartillas, incluyendo figuras y cuadros, sin considerar la página de presentación. Para su escritura se utilizará procesador Word 6.0 o posterior, para Windows 98 o versión más reciente; todo texto se preparará utilizando letra Arial 12 puntos, escrito a doble espacio y numerando páginas, renglones, cuadros y figuras del documento para facilitar su evaluación. Utilizar un margen izquierdo de 3.0 cm. y 2.0 para el resto. Se recomienda no utilizar sangría al empezar cada párrafo del manuscrito. Los manuscritos de las diferentes categorías de trabajos que se publican en la revista deberán contener los componentes que a continuación se indican, empezando cada uno de ellos en página aparte.

- a. Página de presentación.
- b. Resumen en español (con palabras clave en español).
- c. Resumen en inglés, *abstract* (con palabras en inglés, *keywords*).

- d. Texto (capítulos y su orden).
- e. Agradecimientos.
- f. Literatura citada.
- g. Cuadros y gráficas.

Página de presentación. Esta página no se numera y debe contener: a) Títulos en español e inglés, escritos en mayúsculas y minúsculas, letras negritas y centradas; b) Nombres de los autores en el orden siguiente: Nombres y apellidos de autor y coautores, uniendo con un guión el apellido paterno y materno de cada uno; además, incluir su afiliación institucional; c) Información completa (incluyendo teléfono, domicilio con el código postal y dirección electrónica) anotando departamento e institución a la que pertenece el autor y coautores; si el autor y coautores pertenecen a la misma institución, no es necesario numerarlos (ver ejemplo mostrado en el cuadro de texto). Como una norma general, el Editor en Jefe se dirigirá solamente al autor de correspondencia mencionado en la carta de autoría y no se proporcionará información alguna a otra persona que lo solicite.

Título. Es indicador del contenido del artículo, y si está escrito apropiadamente, facilitará indexarlo. Un buen título es breve (no más de 15 palabras), descriptivo e identifica el tema y propósito del estudio; al escribir el título debe elegirse palabras de gran impacto que revele la importancia del trabajo. Es recomendable evitar el uso de palabras o frases que tienen poco impacto y que no proporcionan información relevante sobre el contenido del estudio; como ejemplos pueden citarse: “Estudio de...”, “Influencia de la...”, “Efecto del...”, etc.

Resumen en español. Al leer un resumen, el investigador puede reconocer el valor del contenido del escrito científico y decidir si lo revisa todo; por lo tanto, el resu-

Cuadro 1. Ejemplo de una página de presentación de un manuscrito científico que incluye títulos, autores y coautores, así como nombre de institución de adscripción y datos generales para propósitos de comunicación.

Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental de Chihuahua, México

Deforest analysis areas in the north central region of the Sierra Madre Occidental of Chihuahua, Mexico

CARMELO PINEDO ÁLVAREZ,¹ ALFREDO PINEDO ÁLVAREZ,²
REY MANUEL QUINTANA MARTÍNEZ,¹ Y MARTÍN MARTÍNEZ SALVADOR³

¹ Profesor de la Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1 de la Carretera Chihuahua-Cauhtémoc. Chihuahua, Chih., México, 31031. Tel. (614) 434-0303. cpinedo@uach.mx.

² Estudiante de posgrado de la Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua.

³ Investigador del Campo Experimental La Campana-Madera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Homero 3744, Fracc. El Vergel. Chihuahua, Chih., México, 31100.

men proporciona valiosa información del estudio y también le facilita al lector decidir si lee todo el escrito. En la segunda página se debe incluir un resumen que no exceda las 250 palabras. En él se indicarán la justificación y objetivos del estudio; dar una breve descripción de la metodología empleada; describir los resultados más relevantes y presentar datos numéricos importantes (ejemplo: *se observó un incremento de 15% en el rendimiento con la densidad de 60,000 plantas por hectárea*), y de ser posible, enfatizar el significado estadístico y escribir la conclusión general del trabajo.

Palabras clave. Después del resumen, en punto y aparte, escribir alfabéticamente de 4 a 6 palabras o frases cortas clave diferentes a las del título, que ayuden a indexar y clasificar el trabajo de acuerdo a su contenido. Las palabras se publicarán junto con el resumen. Los nombres de especies biológicas se escriben al principio de esta sección.

Resumen en inglés (abstract). Debe ser una traducción exacta del resumen en español, para ello es conveniente que los autores busquen la asesoría de profesionales de las ciencias que dominen el idioma inglés.

Palabras clave en inglés (keywords). Son las mismas palabras indicadas para el resumen en español que deberán ser traducidas al idioma inglés con la asesoría de un científico o técnico experto en la lengua.

Texto (capítulos y su orden). Existen diferencias en cuanto al contenido y estructura de cada una de las categorías de escritos científicos, que son publicados en la revista. Las normas específicas para cada categoría son descritas enseguida, y para aquellos escritos recibidos que no se ajusten a estos formatos, el Consejo Editorial decidirá si pueden enviarse para su revisión al Comité Editorial del área correspondiente.

1. Artículo científico

Trabajo completo y original, de carácter científico o tecnológico, cuyos resultados se obtuvieron de investigaciones conducidas por los autores en alguna de las seis áreas del conocimiento citadas inicialmente. El manuscrito científico se divide en los capítulos siguientes:

- Resumen y *abstract*.
- Introducción.
- Materiales y métodos.
- Resultados y discusión.
- Conclusiones.
- Agradecimientos.
- Literatura citada.

Resumen y *abstract*

En una sección previa fueron descritas las normas editoriales para elaborar esta sección del escrito científico.

Introducción

- a) Es importante resaltar el *tema* del que trata la investigación. Se recomienda iniciar esta sección redactando una o dos oraciones de carácter universal, que sirva al investigador como argumento científico al describir su trabajo. A continuación se cita un artículo, cuyo título es: “Olor penetrante y azúcares de cultivares de cebolla de días cortos afectados por nutrición azufrada”. Los autores empiezan con las oraciones siguientes:

“El sabor en la cebolla (*Allium cepa*) depende de hasta 80 compuestos azufrados, característicos del género *Allium*, además de varios carbohidratos solubles en agua. La intensidad del sabor es determinada por el genotipo de la variedad de cebolla y el ambiente en que se cultiva”.

- b) También debe incluirse la *información previa* y *publicada* sobre el tema del estudio (*antecedentes*). Para orientar al lector es suficiente incluir referencias bibliográficas relevantes y recientes, en lugar de una revisión extensa de citas a trabajos viejos y de poca importancia sobre el tópico investigado. A continuación se presenta un ejemplo de cómo presentar cronológicamente las citas bibliográficas:

“La existencia de variación genética dentro de los cultivares de cebolla ha sido demostrada para intensidad de sabor y contenido total de azúcares” (Darbyshire y Henry, 1979; Bajaj *et al.*, 1980; Randle, 1992b).

- c) *Problema a resolver*. Con una o dos oraciones especificar el problema abordado, justificar la realización del estudio, o bien, enunciar la hipótesis planteada por el investigador y cuya validez será probada por el experimento. Siguiendo con el ejemplo anterior, se presenta una breve descripción del problema estudiado:

“Se requiere un mayor conocimiento sobre características deseables, como el sabor intenso y contenido de carbohidratos solubles de la cebolla, que son afectadas por la interacción cultivar x niveles de fertilización azufrada”.

- d) *Definición de los objetivos del estudio*. Aquí se enuncia brevemente hacia donde se dirige la in-

vestigación, es decir, se describe la manera o el medio a través del cual se pretende examinar el problema definido o la pregunta planteada por el investigador. Esta parte de la introducción permitirá al lector ver si las conclusiones presentadas por el investigador son congruentes con los objetivos planteados al inicio del trabajo. Ejemplo:

“Los objetivos de esta investigación fueron: Evaluar cultivares de cebolla de fotoperiodo corto, caracterizadas por su poco sabor y bajo contenido de carbohidratos solubles en agua, con niveles bajos y altos de azufre y determinar la asociación de dichas características con la fertilización”.

Materiales y métodos

Esta sección debe responder a las preguntas: ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo se hizo el trabajo? Puede incluir cuadros y figuras. El autor debe proporcionar información concisa, clara y completa, para que las técnicas y/o los procedimientos descritos así como las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el estudio, puedan ser repetibles por otros investigadores competentes en el área (lugar, ciclo o etapa biológica, manejo del material biológico, condiciones ambientales, etc.).

Si un procedimiento es ampliamente conocido basta con citar a su(s) autor(es); sin embargo, cuando el método seguido ha sido modificado, debe proporcionarse detalles suficientes del mismo así como de un diseño experimental inusual o de los métodos estadísticos aplicados para el análisis de los resultados (arreglo de tratamientos, diseño experimental, tamaño de la unidad experimental, variables de respuesta, proceso de muestreo para obtener los datos, análisis estadístico de los datos, técnica de comparación de medias, etc.). Es recomendable dar una descripción cronológica del experimento y de los pasos de la metodología aplicada.

Al describir los materiales, deben señalarse especificaciones técnicas, cantidades, fuentes y propiedades de los materiales indicando nombre y dirección del fabricante. Para el caso de material biológico, dar información suficiente de las características particulares de los organismos (edad, peso, sexo, etapa fenológica, etc.); es importante también identificar con precisión el género, especie y nombre del cultivar o raza utilizado en el estudio. Si se trata de material no vivo, por ejemplo suelo cultivado, proporcionar los datos taxonómicos para facilitar su identificación.

Resultados y discusión

En esta parte importantísima del manuscrito los resultados derivados del estudio se distinguen porque: son presentados en forma de cuadros y figuras, analizados estadísticamente e interpretados, bajo la luz de la hipótesis planteada antes de iniciar la investigación. Es recomendable que el autor incluya un número óptimo de cuadros y figuras de buena calidad, que sean absolutamente necesarios y que sirvan como fundamento para mejorar la comprensión de los resultados y darle soporte a la hipótesis sometida a prueba.

Cada cuadro y figura debe numerarse; su título debe ser claro y descriptivo; los símbolos y abreviaturas incluidos deben ser explicados apropiadamente. Los cuadros y figuras elaborados a partir de los *resultados* deben ser explicativos por sí mismos; los comentarios que se hagan deben resaltar características especiales tales como: Relaciones lineales o no lineales entre variables, una cantidad estadísticamente superior a otra, tendencias, valores óptimos, etc. En síntesis responde a la pregunta “¿qué ocurrió?”.

En la sección de *discusión* los datos presentados en forma de cuadros y figuras son interpretados enfocando la atención hacia el problema (o pregunta planteada) definido en la introducción, buscando demostrar la validez de la hipótesis elaborada por el investigador. Una buena discusión puede contener:

- a) Principios, asociaciones y generalizaciones basadas en los resultados;
- b) excepciones, variables correlacionadas o no y definición de aspectos del problema no citados previamente pero que requieren ser investigados;
- c) énfasis sobre resultados que están de acuerdo con otro trabajo (o lo contradicen), y
- d) implicaciones teóricas o prácticas.

Cuando la discusión se presenta en una sección separada no debe escribirse como una recapitulación de los resultados, pero debe centrarse en explicar el significado de ellos y explicar cómo proporcionan una solución al problema abordado durante el estudio. Cuando se comparan los resultados del presente estudio con otros trabajos, ya sea que coincidan o estén en desacuerdo con ellos, deben citarse las referencias más pertinentes y recientes.

Conclusiones

Es aceptable escribir en una sección separada una o varias conclusiones breves, claras y concisas, que se desprenden de los resultados de la investigación y que sean

una aportación muy concreta al campo del conocimiento donde se ubica el estudio. No se numeran las conclusiones y al redactarlas debe mantenerse la congruencia con los objetivos del trabajo y el contenido del resumen.

Agradecimientos

En esta sección se da el crédito a personas o instituciones que apoyaron, financiaron o contribuyeron de alguna manera a la realización del trabajo. No se debe mencionar el papel de los coautores en este apartado.

Literatura citada

Incluye la lista de referencias bibliográficas citadas en el manuscrito científico, ordenadas alfabéticamente y elaborada conforme a las reglas siguientes:

1. Es recomendable que las referencias bibliográficas obtenidas sean preferentemente de: *Artículos científicos* de revistas periódicas indexadas, *capítulos o libros y manuscritos en extenso* (4 o más cuartillas) publicados en memorias de congresos científicos.
2. Al escribir una referencia empezar con el apellido paterno (donde sea costumbre agregar enseguida el apellido materno separado por un guión) del autor principal y luego las iniciales de su(s) nombre(s). Enseguida escriba la inicial del nombre del segundo autor y su primer apellido. Continuar así con el tercero y siguientes autores separando sus nombres con una coma y una y entre el penúltimo y último autor.
3. Colocar primero las referencias donde un autor es único y enseguida donde aparece como autor principal. En estos casos el orden de las citas se establece tomando como base el apellido del primer coautor que sea diferente.
4. En las citas donde el(los) autor(es) sea(n) los mismos, se ordenarán cronológicamente; se utilizarán letras en referencias de los mismos autores y que fueron publicadas en el mismo año (2004a, 2004b, 2004c, etc.).
5. Títulos de artículos y de capítulos de libros se escribirán con minúsculas (excepto la primera letra del título y nombres propios). Los títulos de libros llevan mayúsculas en todas las palabras excepto en las preposiciones y artículos gramaticales.

Cada uno de los tipos de referencias bibliográficas y las reglas para citarlas se ilustran con ejemplos enseguida:

Artículos científicos de revistas periódicas

- GAMIELY, S., W. M. Randle, H. A. Mills, and D. A. 1991. Onion plant growth, bulb quality, and water uptake following ammonium and nitrate nutrition. *HortScience* 26(9):1061-1063.
- RANDLE, W. M. 1992a. Sulfur nutrition affects nonstructural water-soluble carbohydrates in onion germplasm. *HortScience* 27(1):52-55.
- RANDLE, W. M. 1992b. Onion germplasm interacts with sulfur fertility for plant sulfur utilization and bulb pungency. *Euphytica* 59(2):151-156.

Capítulos de libros

- DARBYSHIRE, B. and B. T. Steer. 1990. Carbohydrate biochemistry. In: H.D. Rabinowitch and J.L. Brewster (eds.). *Onions and allied crops. Vol. 3. CRC Press, Boca Raton, Fla. p. 1-6.*

Libros

- STEEL, R. G. D. and J. H. Torrie. 1960. Principles and Procedure of Statistics: A Biometrical Approach. McGraw-Hill Book Company Inc. New York. 481 p.

Memorias de Congresos científicos

- MATA, R. J., F. Rodríguez y J. L. Pérez. 2005. Evaluación de aditivos fertilizantes: raíz-set LSS (producto comercial) y root N-Hancer (producto experimental) en la producción de ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.) en Chapingo, México. In: Memoria de artículos en resumen y en extenso, XI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas (SOMECH). 27-29 de septiembre de 2005. Chihuahua, Chih., México. p. 134.

Boletín, informe, publicación especial

- HOAGLAND, D. R. and D. I. Arnon. 1980. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Circ. 347. 50 p.
- ALVARADO, J. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 2. 150 p.
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY(USEPA). 1981. Process design manual for land treatment of municipal wastewater. USEPA Rep. 625/1-77-008 (COEEM1110-1-501). U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C. 60 p.

2. Nota científica

Son de menor extensión que un artículo (máximo 10 cuartillas a doble espacio, incluyendo cuadros y figuras).

Pueden incluirse:

- a) Descubrimientos o aportaciones breves, obtenidas de un estudio reciente de carácter local o limitado;
- b) el producto de modificaciones o mejoramiento de técnicas, procedimientos experimentales, análisis estadísticos, aparato o instrumental (de laboratorio, invernadero o campo);
- c) informes de casos clínicos de interés especial;
- d) resultados preliminares, pero importantes y novedosos, de investigaciones en desarrollo, o bien,
- e) desarrollo y aplicación de modelos originales (matemáticos o de cómputo) y todos aquellos resultados de investigación que a juicio de los editores merezcan ser publicados.

Como en el caso de un artículo extenso, la nota científica debe contener: a) *título* (español e inglés), b)

autor(es), c) institución de adscripción del autor(es), d) resumen (en español e inglés), e) palabras clave (español e inglés). El texto de una nota científica contendrá también la misma información señalada para un artículo extenso: f) introducción, g) materiales y métodos, h) resultados y discusión, e i) conclusiones, sin embargo, su redacción será corrida de principio a final del trabajo; esto no quiere decir que sólo se supriman los subtítulos, sino que se redacte en forma continua y coherente. La nota científica también incluye el inciso k) bibliografía.

3. Ensayo científico

Manuscrito de carácter científico, filosófico o literario, que contiene una contribución crítica, analítica y sólidamente documentada sobre un tema específico y de actualidad. Se caracteriza por ser una aportación novedosa, inédita y expresa la opinión del(os) autor(es) así como conclusiones bien sustentadas. Su extensión máxima es de 20 cuartillas a doble espacio (incluyendo cuadros y figuras).

La estructura del ensayo contiene los incisos siguientes: a) Títulos (español e inglés), b) autor(es), c) Institución de adscripción, d) resumen (español e inglés), e) palabras clave (español e inglés), f) introducción, g) desarrollo del tema, g) conclusiones y h) bibliografía. El tópico es analizado y discutido bajo el apartado *Desarrollo del tema*.

4. Revisión bibliográfica

Consiste en el tratamiento y exposición de un tema o tópico relevante y de actualidad. Su finalidad es la de resumir, analizar y discutir, así como poner a disposición del lector información ya publicada sobre un tema específico. Ya sea que la revisión temática sea solicitada por el Consejo Editorial a personas expertas o bien que el manuscrito sea presentado por un profesional experimentado, debe resaltarse la importancia y significado de hallazgos recientes del tema. El texto contiene los mismos capítulos de un ensayo, aunque en el capítulo *desarrollo del tema* es recomendable el uso de encabezados para separar las diferentes secciones o temas afines en que se divide la revisión bibliográfica; además, se sugiere el uso de cuadros y figuras para una mayor comprensión del contenido.

Desarrollo del tema es recomendable el uso de encabezados para separar las diferentes secciones o temas afines en que se divide la revisión bibliográfica; además, se sugiere el uso de cuadros y figuras para una mayor comprensión del contenido.

Preparación de cuadros y figuras

Se recomienda insertar los cuadros y figuras, numerados progresivamente, en el lugar correspondiente del texto. Deberá incluirse por separado un archivo para los cuadros y otro para las figuras en formato Excel, con el propósito de editarlos en caso de ser requerido. Los títulos de los cuadros y/o figuras se escriben en letra Arial, negritas y 12 puntos. En los títulos, el uso de las letras mayúsculas se limita a la primera letra y nombres propios.

Cuadros

Los cuadros con los resultados se presentan en tablas construidas preferentemente con tres o cuatro líneas horizontales; las dos primeras sirven para separar los encabezados, mientras que la(s) última(s), para cerrar la tabla. Las líneas verticales se usan también para distinguir columnas de datos. El cuadro 1 presenta un ejemplo de cuadro con información estadística.

Figuras

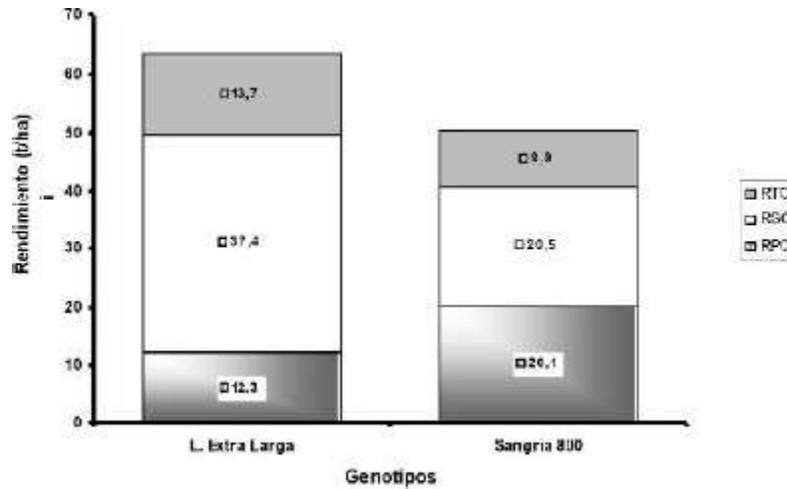
En las figuras no se debe duplicar la información presentada en los cuadros o viceversa. Se recomienda el uso de medidas de acuerdo al Sistema Métrico Decimal y las abreviaturas utilizadas deberán apearse a las recomendaciones que aparecen en la tabla que se anexa al presente documento.

Siempre que se incluyan figuras de línea o de otro tipo deben utilizarse símbolos bien definidos para evitar confusiones. Si se usan gráficas del tipo de barras o pastel, los rellenos deben ser contrastantes. En lo posible, las fotografías incluidas en el manuscrito deben ser en blanco y negro, en formato *tif* con 300 puntos de resolución y enviadas en un archivo electrónico separado.

Cuadro 1. Análisis de varianza de la variable *Peso de flor fresca en Golden Delicious*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrado medio	F _c calculada	Significancia P _r > F _t
Colector	3	4306,25	1435,42	2,68	0,1099
Día	3	214118,75	71372,92	133,30	0,0001
Error	9	4818,75	535,42	-	-
Total	15	223243,75	Desv. Estándar =	23,14	
Estimadores	CV _(%) =	10,9	Media =	211,9	

Figura 1. Rendimiento de tres cortes en dos genotipos de sandía (Janos, Chih., UACH-2005).



Cuadro 2. Unidades de medición y abreviaturas de uso frecuente.

Unidades	Abreviatura	Unidades	Abreviatura
cal	Caloría(s)	ml	Mililitro (s)
cm	Centímetro(s)	mm	Milímetro (s)
°C	Grado centígrado(s)	min	Minuto (s)
DL ₅₀	Dosis letal 50%	ng	Nanogramo (s)
g	Gramo(s)	P	Probabilidad (estadística)
ha	Hectárea(s)	p	Página
h	Hora (s)	PC	Proteína cruda
i. m.	Intramuscular (mente)	PCR	Reacción en cadena de la polimerasa
i. v.	Intravenosa (mente)	pp	Páginas
J	Joule(s)	ppm	Partes por millón
kg	Kilogramo(s)	%	Por ciento (con número)
km	Kilómetro(s)	rpm	Revoluciones por minuto
l	Litro(s)	seg	Segundo (s)
log	Logaritmo decimal	t	Tonelada (s)
Mcal	Megacaloría(s)	TND	Total de nutrientes digestibles
MJ	Megajoule(s)	UA	Unidad animal
M	Metro(s)	UI	Unidades internacionales
msnm	Metros sobre el nivel del mar	vs	Versus
µg	Microgramo(s)	xg	Gravedades
µl	Microlitro(s)	km.h ⁻¹	Kilómetro por hora
µm	Micrómetro(s) ó micra(s)	t.ha ⁻¹	Tonelada por hectárea
mg	Miligramo(s)	µg. ml	Microgramos por mililitro

Cualquier otra abreviatura se pondrá entre paréntesis inmediatamente después de la(s) palabra(s) completa(s).

Los nombres científicos y otras locuciones latinas se deben escribir en cursivas, como se indica en los ejem-

plos siguientes: Durazno (*Prunus persica* L. Batsch), Tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), Hongo fitopatológico (*Pythium aphanidermatum* Edson), Palomilla de la manzana (*Cydia pomonella* L.), en laboratorio: *in vitro*, sin restricción: *ad libitum*.

17ª

Semana
Nacional
de Ciencia y
Tecnología

2000 AÑOS de Ciencia y Tecnología en México



• Exposiciones

• Pabellón de
innovación

• Talleres

• Ciclos de videos

• Conferencias magistrales

• Mesas redondas

Infórmate en tu escuela y/o
en el Consejo de ciencia
y tecnología de tu estado

Entrada Libre

25 - 29 octubre 2010



Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chihuahua
Av. Cuauhtémoc No. 1800, 3er. Piso
Colonia Cuauhtémoc, Chihuahua, Chih. México C.P. 31020
Tel./Fax (01.614) 415.0986 y 429.3300, ext. 16154



GOBIERNO
FEDERAL

MÉXICO
2010





Selección



Calidez



Aún a tiempo



Armonía



Frescura

Emoción-ARTE
Esther Gallegos Blanco