

TECNOLOGIA Ciencia

Revista de ciencia, tecnología y humanidades
Universidad Autónoma de Chihuahua



Manejo de plagas en el cultivo de chile
y su impacto ambiental en la zona agrícola
de Jiménez-Villa López, Chihuahua, México

\$ 60.⁰⁰
Volumen 1
Número 2
May.-Ago. 2007
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 NUÑEZ

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. ARMANDO SEGOVIA LERMA

Director

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA

Editor en Jefe

Editores asociados

M. H. MARÍA DEL PILAR ALANÍS

DRA. ALMA DELIA ALARCÓN ROJO

DRA. ANA CECILIA GONZÁLEZ FRANCO

DR. ALVARO IDROVO VELANDIA

DR. JUAN OLLIVIER FIERRO

DR. CARMELO PINEDO ÁLVAREZ

DRA. LUZ HELENA SANÍN AGUIRRE

DR. LUIS CÉSAR SANTISTEBAN 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 Norteamérica

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

JORGE VILLALOBOS H.

Diseño y formato

DR. JOHN G. MEXAL

Abstracts

Lic. HERIBERTO RAMÍREZ LUJÁN

Circulación

MARISELA FRANCO ÁVILA

Asistente de diseño

DR. HÉCTOR O. RUBIO ARIAS

Revisión técnica

CARMEN L. VELARDE SHUAYRE

Oficina

TECNOCIENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen I, Número 2, mayo-agosto 2009. 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: En trámite. Número de Certificado de Licitud de Título: 13868. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11441. 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 Extensión y Difusión Cultural, Ciudad Universitaria, Campus Universitario I, C.P. 31170. Imprenta: Impresos Santander, 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-mails: tecnociencia.chihuahua@uach.mx, dip@uach.mx y crivera@uach.mx

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

Contenido

Definición de la revista

2

Editorial

3

El científico frente a la sociedad

Una alternativa para convertir un residuo del proceso de "nixtamalización" del maíz en un producto de alto valor agregado

Elizabeth Carvajal-Millán

4

Alimentos

Caracterización mineral de manzana *Red Delicious* y *Golden Delicious* de dos países productores

*María Magdalena Mancera-Lopez
Juan Manuel Soto-Parra
Esteban Sánchez-Chávez
Rosa María Yáñez-Muñoz
Federico Montes-Domínguez
René Renato Balandrán-Quintan*

6

Ingeniería y tecnología

Análisis de membranas poliméricas compuestas por Microscopía de Fuerza Atómica

*Luisa Piroshka Terrazas-Bandala
Guillermo González-Sánchez
Guadalupe Virginia Nevárez-Moorillón
María de Lourdes Ballinas-Casarrubias*

18

Nueva ruta para la obtención de multiferroicos magnetoeléctricos monofásicos

*María Elena Fuentes-Montero
Edgar A. Macías-Ríos
César Octavio Contreras-Vega
Ramón Olivas-Vargas
Luz María Rodríguez-Valdez
Amelia Valdez-Aguirre
Carlos Armando De la Vega-Cobos
Héctor Camacho-Montes*

27

Medio ambiente y desarrollo sustentable

Manejo de plagas en el cultivo de chile y su impacto ambiental en la zona agrícola de Jiménez-Villa López, Chihuahua, México

*César Guigón-López
Pablo Andrés González-González*

36

Separabilidad espectral de cultivos agrícolas con Imágenes Landsat TM

*Carlos Manjarrez-Domínguez
Carmelo Pinedo-Álvarez
Cristina Elizabeth Vélez-Sánchez Verín
Alfredo Pinedo-Álvarez*

48

Normas editoriales

Guía para autores de escritorios científicos

57

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, Creatividad y desarrollo tecnológico, Educación y humanidades, Economía y administración, Medio ambiente y desarrollo sustentable.

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

Editorial

La Revista *TECNOCIENCIA Chihuahua*, publicación arbitrada de la Universidad Autónoma de Chihuahua, fue dada a conocer a la comunidad científica el día 13 de febrero del presente año. A escasos meses de haberse presentado la publicación del primer fascículo e iniciado su distribución dentro y fuera de México, se ha creado una plataforma para la versión electrónica, la cual puede consultarse en la página web <http://tecnociencia.uach.mx>.

Con el objetivo de darle una mayor presencia internacional, se han dado los primeros pasos para presentar la candidatura de *TECNOCIENCIA Chihuahua* para ser indexada en las bases de datos PERIÓDICA y LATINDEX.

Como todas las revistas científicas, la nuestra experimenta algunos cambios tendientes a mejorar su calidad; el primero es la incorporación de editores especialistas en diversos campos del conocimiento, con el fin de mejorar el proceso de revisión, arbitraje y edición de los escritos científicos. También incrementamos el número de miembros del Consejo Editorial Internacional adscritos a instituciones de educación superior y/o centros de investigación de otros países.

Atendiendo al mejoramiento de la revista se realizaron ajustes a las secciones, dejando únicamente las si-

guientes: *Definición de la revista, Editorial, El científico frente a la sociedad* y la de *escritos científicos*; en esta última sección seguiremos dando mayor peso a aquellos de contenido científico. También es importante señalar que en la última página de cada artículo se incluye la cita completa del mismo. Finalmente, se cambia ligeramente el formato de la portada y se agregan en cada página los autores y título del artículo para identificar rápidamente la cita bibliográfica.

Todos los cambios realizados se apegan a los criterios de calidad editorial, que serán revisados por el comité evaluador de la red internacional de revistas científicas LATINDEX, y éste dictaminará si la publicación cumple con los requisitos y tiene los méritos para su registro en la base de datos.

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA
Editor en Jefe

Una alternativa para convertir un residuo del proceso de “nixtamalización” del maíz en un producto de alto valor agregado

An alternative to convert residues of corn “nixtamalización” process as a high-value product

ELIZABETH CARVAJAL-MILLÁN¹

Los cereales son fuente de gomas con aplicaciones alimenticias, tal es el caso de la goma de maíz. Sin embargo, su uso y comercialización son menos comunes debido a que su obtención se considera hasta el momento costosa. Estos costos se asocian al proceso de extracción, el cual implica el uso de enzimas y solventes. Debido a su insolubilidad en agua, la extracción acuosa de la goma de maíz implica una hidrólisis alcalina de la molécula con el objetivo de reducir su tamaño. La cantidad de goma de maíz insoluble en agua presente en la cascarilla del grano de maíz es alta (30-40%) comparada con la cantidad de goma de maíz soluble en agua contenida en el endospermo (1%), por lo que constituye una fuente comercial más competitiva de esta goma.

La nixtamalización del maíz es un proceso en el cual el grano de maíz es sometido a un tratamiento alcalino (cal, hidróxido de calcio o lejía). En México la nixtamalización es un proceso requerido para la elaboración de múltiples alimentos a base de maíz como las tortillas, los tamales, los totopos, entre otros. De-

bido a esto, en nuestro país se generan diariamente cantidades importantes del líquido residual de la nixtamalización llamado “nejayote”. Este líquido contiene agua, cal y residuos de cascarilla y endospermo de maíz. El nejayote es, en la mayoría de los casos, eliminado directamente al sistema de drenaje, lo cual lo

convierte en un residuo alcalino altamente contaminante para el medio ambiente. De esta manera, la utilización del nejayote como fuente potencial de goma de maíz puede representar una alternativa de uso de este residuo contaminante y una opción para disminuir el costo de extracción de esta goma.

¹ Investigadora, Laboratorio de Biopolímeros, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Cuauhtémoc. Av. Río Conchos s/n Parque Industrial, C.P. 31570. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua. México. Teléfono: (625) 581-2920, Fax: (625) 581-2921. ecarvajal@ciad.mx.


En el laboratorio de biopolímeros del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Unidad Cuauhtémoc se investiga el uso del nejayote como nueva fuente de goma de maíz. Este proyecto de investigación está financiado por el Fondo Sectorial SAGAR-PA-CONACYT y se cuenta con la colaboración internacional de la Dra. Valérie Micard de la École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Francia. La realización de este estudio ha permitido someter una patente nacional (solicitud de patente mexicana No PA/a/2005/008124 titulada "Método para la obtención de goma de maíz a partir del líquido residual de la nixtamalización del grano de maíz").

Las gomas alimenticias son ampliamente utilizadas como espesantes, estabilizantes y agentes de encapsulación para la preparación de

salsas, helados y productos de panadería, entre otros. La goma de maíz tiene la particularidad de contener un antioxidante, el ácido ferúlico, lo cual le confiere propiedades diferentes a las de otras gomas alimenticias actualmente disponibles en el mercado nacional e internacional. Este antioxidante permite a la goma de maíz formar geles covalentes resistentes a cambios de temperatura y pH, característica que no es común en los geles que forman otras gomas alimenticias.

La capacidad de gelificación de esta goma de maíz le permite ser utilizada como matriz de encapsulación de aromas, sabores, colores, antioxidantes y microorganismos, entre otros. La gran variedad de compuestos que pueden ser contenidos en estos geles y después ser liberados de manera controlada permite su aplicación no solo en la industria ali-

menticia sino también en las industrias agronómica, farmacológica, cosmética y médica. Por otra parte, esta goma es soluble en agua y forma geles biodegradables, lo cual le confiere una gran ventaja frente a los geles de polímeros sintéticos como el polietilenglicol. Es esta característica lo que ha provocado un aumento en la demanda de gomas de origen natural, como la goma de maíz, especialmente en aplicaciones alimenticias y farmacéuticas, en las cuales los geles son ingeridos por las personas.

Dado que a nivel internacional las fuentes comerciales de esta goma son escasas y su precio de venta es alto, la implementación de un método alternativo de extracción podría tener un impacto socio-económico importante en nuestro país. 

Caracterización mineral de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' de dos países productores

Mineral characterization of 'Red Delicious' and 'Golden Delicious' apple varieties from two producing countries

MARÍA MAGDALENA MANCERA-LÓPEZ¹, JUAN MANUEL SOTO-PARRA¹, ESTEBAN SÁNCHEZ-CHÁVEZ^{3,*}, ROSA MARÍA YÁÑEZ-MUÑOZ¹, FEDERICO MONTES-DOMÍNGUEZ¹, RENÉ RENATO BALANDRÁN-QUINTANA²

Recibido: Abril 30, 2007

Aceptado: Junio 27, 2007

Resumen

La calidad de la fruta está íntimamente relacionada con la composición mineral de la misma y la relación entre sus nutrientes. Actualmente se han asociado los estándares minerales foliares con la calidad de la fruta, sin embargo, tanto las hojas como los frutos tienen diferente origen y necesidades, por lo que sus niveles minerales son diferentes. En este trabajo se generaron valores de referencia en frutos de manzana en postcosecha para 'Golden Delicious' y 'Red Delicious' de Chihuahua, México y Washington, EUA. Se determinó el contenido mineral de cáscara y pulpa; se hizo un comparativo entre ambas regiones y por medio del Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI) se evaluaron desbalances minerales y/o fisiológicos. Fueron detectados gradientes de concentración entre la cáscara y la pulpa, siendo característicos los estándares minerales para las distintas variedades de cada región. Las variedades de Chihuahua presentaron un contenido de Mg menor al 50 % que las de Washington, esto repercutió en las relaciones minerales con Ca y K; su contenido de N y Na en la cáscara también fue notoriamente menor.

Palabras clave: *Malus domestica, calidad, postcosecha, estándares minerales, relaciones minerales.*

Abstract

Fruit quality is closely related to mineral composition and the relationship among nutrients. There has been an effort to link the foliage mineral standards with fruit quality; however, both leaves and fruits have different mineral content and distinct nutrient requirements. Reference values in post harvest apple fruits were developed in the current research for Golden Delicious and Red Delicious grown in Chihuahua, Mexico and Washington, USA. The mineral content of skin and pulp was determined using the Differential Integrated Diagnosis (DID); mineral and physiological imbalances were evaluated where concentration gradients were observed between skin and pulp for both apple varieties and production regions. Chihuahua varieties showed a 50 % lower Mg content than Washington apples, affecting the relationship with other nutrients such as Ca and K. The content of N and Na in the skin was also lower.

Keywords: *Malus domestica, fruit quality, post harvest, mineral standards, mineral relations.*

¹ Profesor de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Ciudad Universitaria s/n. Campus Universitario I. 31310, Chihuahua, Chih. México. Apdo. Postal 24, Tel. y Fax: (614) 439-1844. Ext. 3117.

² Profesor de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Ciudad Universitaria s/n (Campus Universitario I). 31310, Chihuahua, Chih. México.

³ Investigador, Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, A.C. (CIAD-Delicias).

* Dirección electrónica del autor de correspondencia: esteban@ciad.mx.

Introducción

La manzana del Estado de Chihuahua se ha caracterizado por su calidad, además de su presencia en el mercado por su sabor, consistencia, frescura y forma. Un aspecto limitante lo constituye el hecho de que no se sigue un criterio definido para cosechar y almacenar la manzana, el cual es fuertemente condicionado por la oportunidad de comercialización, lo que ocasiona que puedan existir pérdidas que en promedio pueden ser de 10 a 30 % (Sams, 1994).

Existe el problema de que no existen parámetros minerales en fruto que permitan predecir la calidad y la capacidad de almacenamiento en manzana, esto conlleva la necesidad de realizar estudios que provean datos que permitan implementar medidas tendientes a conservar la calidad de la manzana durante el almacenamiento y que posteriormente tenga una razonable vida de anaquel.

La composición mineral de los frutos es uno de los principales factores relacionados con la ocurrencia de desórdenes durante el almacenamiento. Los análisis minerales en fruto son una herramienta que puede usarse para diagnosticar y predecir la probabilidad de que ocurran problemas durante el almacenamiento. También permite que la fruta de diferentes huertos sea clasificada en términos de almacenabilidad. En Inglaterra se usa comercialmente el análisis mineral total de los elementos del fruto para predecir la calidad de la manzana en postcosecha y vida de anaquel. Programas similares están bajo desarrollo en Washington (Davenport y Peyrea, 1989).

Es mejor comercializar pronto la fruta propensa a desórdenes fisiológicos durante almacenamiento y no almacenarla, salvando así calidad y valor. Un análisis mineral temprano de tejidos y fruto pequeño pueden dar indicadores prematuros de potenciales desbalances minerales en fruto al

momento de la cosecha, permitiendo la toma de decisiones (Anonymous, 2004). Los estándares minerales de hoja, flor y fruto son una herramienta de gran utilidad que permite diagnosticar y corregir de manera temprana e integral los desbalances minerales asociados con acabado final de la fruta ("finish"), calidad y capacidad de conservación de frutos de manzana en postcosecha.

La calidad de un fruto fresco está generalmente relacionada con sus características físicas (color, firmeza, tamaño, etc.); su composición química y bioquímica, la cual determina el gusto y sabor característicos, y también las concentraciones de algunos metabolitos promotores de la salud. Wilson *et al.* (1999) postularon que la máxima calidad del fruto es alcanzada al momento de la cosecha, después de ese momento no es posible incrementar la calidad de parámetros decisivos. Esta suposición es verdadera para aquellos parámetros relacionados a la composición bioquímica, pero algunas características físicas (color, firmeza, etc.) pueden ser modificadas durante postcosecha, especialmente si la cosecha se llevó a cabo antes de un estado de maduración óptima, para prevenir o disminuir los riesgos de daño externo provocados por el manejo, almacenamiento y transporte (Botia *et al.*, 2002).

Por una parte el escaldado y por otra los desórdenes fisiológicos producen pérdidas superiores al 3 % de la cosecha. Diversos factores genéticos y ambientales afectan antes de la cosecha al crecimiento y desarrollo y finalmente la calidad de los vegetales y frutas frescas (Shewfelt, 1990); muchos de estos factores están fuera del control de los productores. La calidad de la fruta al momento de la cosecha y del consumo depende de los efectos combinados de energía, agua y flujo de nutrientes dentro y fuera del fruto.

Considerando todo lo anteriormente expuesto, es necesario caracterizar el estado mineral de frutos de manzana de Chihuahua y Washington con el propósito de tener un referente de comparación y poder implementar medidas de manejo mineral en campo tendientes a mejorar la calidad, capacidad de conservación de la manzana y vida de anaquel razonable, además de jerarquizar los desbalances minerales y/o fisiológicos al comparar contenido mineral de la manzana nacional con aquella de EUA.

Materiales y métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en los años 2000 y 2001 con las variedades 'Golden Delicious' y 'Red Delicious', representativas en producción y calidad de los estados de Chihuahua, México, y Washington, Estados Unidos de América.

Se utilizaron tres cajas de manzana de 20 kg cada una por cada variedad, de tamaño 100 para ambos países. Cada caja contenía 100 frutos, en cinco charolas de 20 frutos cada una; se descartó la charola superior y entonces las cuatro charolas restantes se aleatorizaron formando cuatro bloques de 20 frutos cada uno para cua-

tro fechas de muestreo: 1) a las 72 horas después de sacarlas del frigorífico o supermercado (para que se adecuaran a la temperatura ambiente, 20 °C) y posteriormente cada 72 horas a temperatura ambiente.

Se evaluaron parámetros de apariencia, desarrollo y madurez de fruto, así como el contenido mineral en cáscara y pulpa del área ecuatorial (zona intermedia). Cada muestra estuvo conformada por 4 repeticiones de 5 frutos cada una, para determinar calidad, mientras que para contenido mineral se consideraron los 20 frutos correspondientes a una charola para contar con suficiente tamaño de muestra, puesto que se consideraron 2 tipos de tejido (cáscara y pulpa).

Se determinó el peso del fruto empleando una balanza analítica Mettler Toledo AB204. Se midieron el diámetro ecuatorial más grande (DEG) y más pequeño (DEC), diámetro polar más grande (DPG) y más pequeño (DPC), utilizando un vernier modelo Effegi. A partir de esos valores se generaron las relaciones L/D: para los diámetros grandes (G), para los diámetros pequeños (C); se determinó el índice de irregularidad polar ($Irr = DPC/DPG$) y tableado ecuatorial ($Tab = DEC/DEG$) y la relación entre éstos dos últimos ($IT = I/T$), es decir, la preponderancia de una deformación sobre la otra. Para el caso de 'Golden Delicious' se evaluó también el daño por roseteado (desorden que ocurre en la epidermis del fruto, manifestándose en manchas corchosas que se pueden presentar en distintas partes del fruto y en diferentes formas e intensidades) para cada una de las ubicaciones del fruto: pedúnculo, ecuatorial y cáliz; se consideró además el roseteado en términos generales con respecto a todo el fruto (Sánchez *et al.*, 2001).

Se evaluó el grado de desarrollo de los lóbulos del cáliz considerando cuatro categorías: lóbulos nulos, lóbulos incipientes, lóbulos prominentes y lóbulos evidentes; la presencia de cada uno de ellos se reportó como porcentaje del total con respecto a los cinco lóbulos por fruto.

Se contabilizó además el número de semillas totales por fruto, expresando como porcentaje el número de semillas buenas. Se evaluó el porcentaje de color del fruto tomando dos medidas de color por fruto (lados intermedios en cuanto a color) utilizando las escalas desarrolladas para 'Red Delicious' por Soto *et al.* (2001), y para 'Golden Delicious' por Hernández *et al.* (2001), expresándolas como porcentaje. La firmeza del fruto se determinó con un penetrómetro (mod. Effe-Gi 327, 0 - 28 lb / pulg²). Los sólidos solubles totales (SST) se midieron con un refractómetro (Atago 0 - 32 °Brix).

La acidez titulable (porcentaje de ácido málico) se determinó titulando con NaOH 0.1 N.

La concentración de nitrógeno total (Nt) se determinó por el método micro-kjeldhal (Bremner y Mulvaney, 1982). Para la determinación de Ca, K, Mg, Na, Cu, Fe, Mn y Zn, la muestra se sometió a digestión ácida (Cottenie, 1994) y sus concentraciones fueron obtenidas por espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un equipo Perkin Elmer (modelo AAnalyst 100). Para la determinación de P y B, las muestras se sometieron a digestión ácida (Cottenie, 1994) y sus concentraciones se obtuvieron en un espectrofotómetro ultravioleta visible en un equipo modelo Spectronic® Genesys 5. Dada la importancia de la relación mineral de cationes sobre la calidad de fruto, se determinaron las siguientes re-

laciones en miliequivalentes: $(Ca+Mg)/K$, $Ca/(K+Mg)$, $Mg/(K+Ca)$, Ca/Mg y K/Mg .

Se obtuvieron por cada nutriente analizado y la relación de cationes nueve niveles, valores o concentraciones minerales: Deficiente (D), Muy Bajo (mB), Bajo (B), Medianamente Bajo (MB), Suficiente (S), Medianamente Alto (MA), Alto (A), Muy Alto (m A) y Exceso (E), sustentados en el Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI), definidos como los nueve posibles rangos en los que pueden estar los nutrientes en un tejido, relacionados con el crecimiento relativo, la producción del cultivo o su calidad (Soto *et al.*, 2003).

De esta manera, la media de cada nutriente y relación de cationes se multiplicó por cada uno de los valores críticos, generando el intervalo mineral para cada categoría con el producto del valor crítico antecedente y presente para esa categoría.

Para cada intervalo mineral se obtuvo la media aritmética (promedio del límite inferior y límite superior), siendo la media del rango suficiente de interpretación (RSI) la referencia para todos los nutrientes y relaciones minerales. Es importante mencionar que la media del rango de suficiencia fue casi la misma que la media aritmética de los datos con los que se generaron los estándares minerales.

Se relacionaron las concentraciones de los macronutrientes con respecto al Ca, las relaciones minerales con respecto a $(Ca+Mg)/K$, los micronutrientes, K y Ca con respecto a B. Con estos resultados se determinó la proporción mineral entre las variedades de Chihuahua con respecto a las de Washington, utilizando como herramienta de análisis el DDI al contrastar una situación observada con respecto a una ideal para determinar desbalances de nutrientes

(DN, cociente < 0.71) y/o fisiológicos (DF, cociente > 1.41) (Soto *et al.*, 2003; Figura 1).

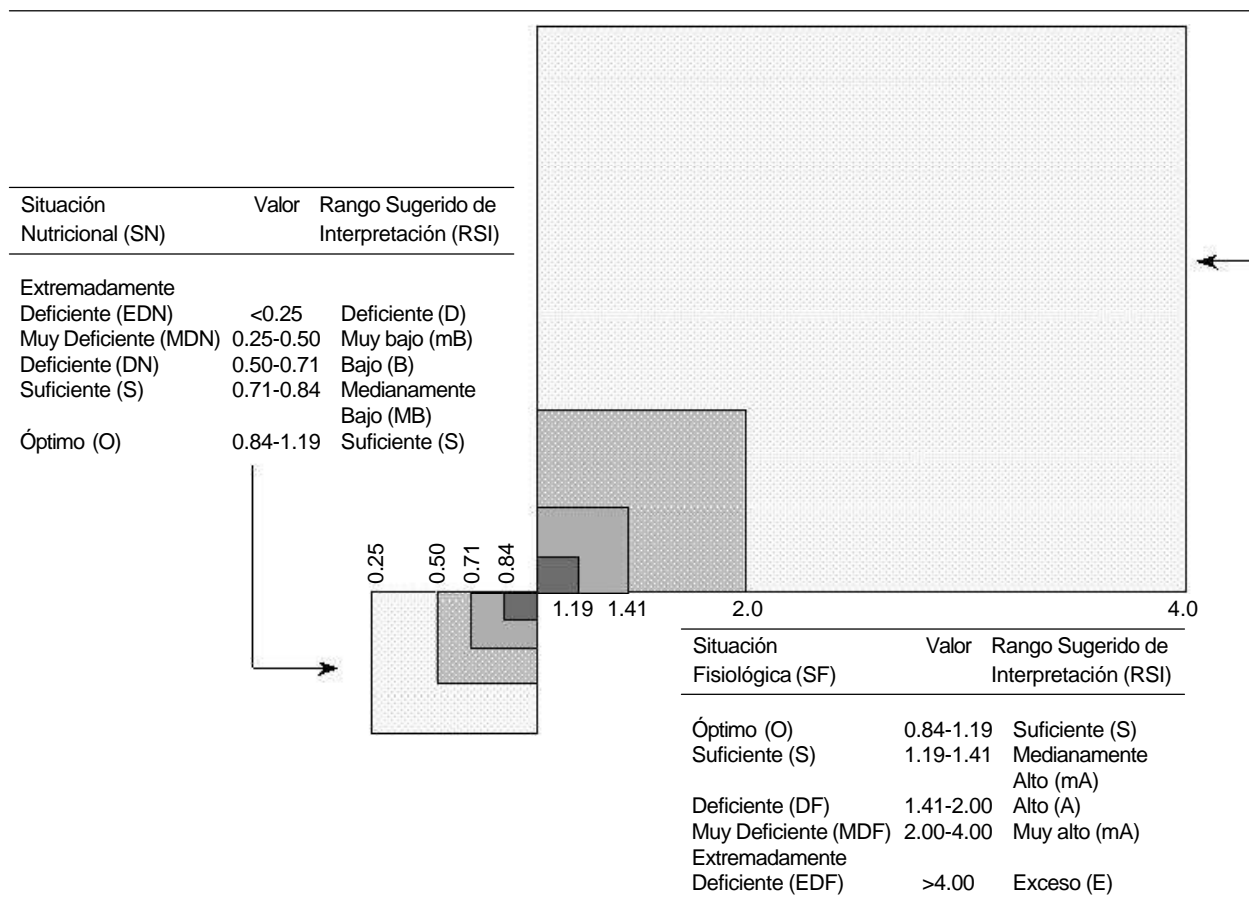
Resultados y discusión

El Cuadro 1 muestra que 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' producidas en Washington tuvieron diámetros polares más grandes, mayor peso y número de semillas; además, en la manzana de Chihuahua se observó menor grado de desarrollo en el caso de 'Red Delicious' y mayor presencia de rosetado en el caso de 'Golden Delicious', sin embargo, ésta última presen-

tó valores más altos en sólidos solubles totales y acidez titulable con respecto a esta misma variedad cultivada en Washington.

El Cuadro 2 muestra los rangos de suficiencia mineral en postcosecha de frutos de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' para Chihuahua, México y Washington, Estados Unidos de América; los estándares minerales en fruto se generaron en la sección ecuatorial para ambos tejidos y se observó que existen gradientes de concentración entre la cáscara y la pulpa, siendo característicos los estándares minerales para las distintas variedades de

Figura 1. Diagrama para la identificación de desbalances de nutrientes (DN) y/o fisiológicos (DF) y determinación del Rango Sugerido de Interpretación (RSI) entre situaciones observadas y aquellas que se consideran ideales.



Cuadro 1. Calidad en postcosecha de frutos de manzana tamaño 100 *Red Delicious* y *Golden Delicious* de dos países productores.

Parámetros de calidad	Chihuahua		Washington	
	Red Delicious	Golden Delicious	Red Delicious	Golden Delicious
Diámetro polar grande	6.84	6.93	7.96	7.22
Diámetro polar chico	6.10	6.23	7.25	6.70
Diámetro ecuatorial grande	7.88	7.5	7.67	7.40
Diámetro ecuatorial chico	7.24	7.11	7.19	7.09
Irregularidad	0.8936	0.9002	0.9117	0.9279
Tableado	0.9200	0.9478	0.9387	0.9578
Irregularidad/tableado	0.9727	0.9508	0.9730	0.9737
Porcentaje de color	82.72	79.24	81.42	73.44
Firmeza	14.18	12.94	13.74	13.12
Sólidos solubles totales	13.10	14.41	12.97	12.33
Acidez titulable	0.2909	0.4629	0.3000	0.3465
Peso	188.2	171.1	215.8	186.8
Número de semillas	4.10	3.54	5.58	7.90
% de semillas buenas	84.92	96.13	83.99	90.64
% de lóbulos nulos	17.44		0.5	
% de lóbulos incipientes	33.39		6.71	
% de lóbulos evidentes	16.86		63.08	
% de lóbulos prominentes	32.31		29.54	
Roseteado del pedúnculo		22.25		1.53
Roseteado del ecuatorial		1.45		4.37
Roseteado del cáliz		0.85		0.53
Roseteado general		36.67		12.11

cada región. Faust (1989) menciona que las frutas tienen gradientes internos de nutrientes. En general, la piel (cáscara) y el corazón de la manzana son más altos en nutrientes, esto está en contraste con la pulpa, donde son relativamente bajos. Se puede observar que el contenido de Ca, tanto en las variedades de Chihuahua como en las de Washington, está por encima del valor crítico de 0.070 % reportado por Bramlage *et al.* (1974), quienes afirman que la ocurrencia de escaldadura, colapso senescente y decaimiento son más prevalentes cuando el contenido de Ca de la cáscara está por debajo de este valor.

Faust y Shear (1980) reportaron que el rango normal del Ca en la cáscara se encuentra entre 0.070-0.100 %, mientras que en la pulpa oscila

entre 0.025-0.050 %; estos autores reportaron también que el rango normal del B en pulpa fluctúa entre 10-30 ppm, presentándose deficiencias con valores menores a 10; por otro lado, no se han especificado los niveles que causan toxicidad.

Las deficiencias de Ca han sido vinculadas a más desórdenes en postcosecha que ningún otro mineral. El estado mineral del calcio puede involucrar otros elementos, especialmente K, P y B (Faust, 1989).

Como puede observarse en el Cuadro 2, los rangos de suficiencia de B son superiores al límite crítico en una y otra variedad de ambos países. El análisis del fruto ha sido encontrado como la manera más satisfactoria de diagnosticar las deficiencias de Ca y B. Los frutos son los primeros en mostrar los síntomas de deficiencia y de numerosos desórdenes fisiológicos que ocurren en el árbol o durante el almacenamiento, que pueden resultar de bajos niveles de Ca y/o B, aún y cuando los niveles en la hoja son los adecuados para un crecimiento normal. Los análisis minerales de pulpa o cáscara han sido usados para determinar el estado del Ca de la fruta.

Se relacionaron los rangos sugeridos de Interpretación (RSI) de los macronutrientes con respecto al del Ca (Cuadro 3), en virtud de que este elemento es considerado el nutriente más importante en la determinación de la calidad del fruto, especialmente importante en manzanas que son propensas a desórdenes metabólicos. En cantidades adecuadas ayu-

Cuadro 2. Rangos de suficiencia mineral en postcosecha para la sección ecuatorial de frutos de manzana *Red Delicious* y *Golden Delicious* de Chihuahua, México y Washington, EUA.

Nutriente		Golden Delicious		Red Delicious	
		Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara
Chihuahua, Chih.					
N _{total}	%	1.21 - 1.71	0.78 - 1.11	1.75 - 2.48	0.90 - 1.27
NO ₃	ppm	711.6 - 1008	860.0 - 1218	668.5 - 947.0	777.3 - 1101
P	%	0.069 - 0.098	0.079 - 0.112	0.028 - 0.040	0.030 - 0.042
K	%	0.491 - 0.695	0.505 - 0.716	0.444 - 0.629	0.428 - 0.606
Ca	%	0.081 - 0.115	0.087 - 0.124	0.075 - 0.106	0.089 - 0.126
Mg	%	0.036 - 0.051	0.036 - 0.051	0.038 - 0.054	0.049 - 0.069
(Ca+Mg)/K	Meq/g	0.476 - 0.675	0.484 - 0.685	0.507 - 0.718	0.664 - 0.941
Ca/(K+Mg)	Meq/g	0.215 - 0.305	0.234 - 0.331	0.213 - 0.302	0.254 - 0.359
Mg/(K+Ca)	Meq/g	0.147 - 0.208	0.145 - 0.206	0.178 - 0.253	0.224 - 0.318
Ca/Mg	Meq/g	1.085 - 1.537	1.235 - 1.749	0.991 - 1.404	0.943 - 1.336
K/Mg	Meq/g	3.964 - 5.616	3.684 - 5.219	3.125 - 4.427	2.287 - 3.240
Na	ppm	0.016 - 0.022	0.010 - 0.014	0.015 - 0.021	0.009 - 0.012
Fe	ppm	26.91 - 38.13	21.77 - 30.84	16.80 - 23.80	21.87 - 30.99
Mn	ppm	2.17 - 3.07	3.43 - 4.86	1.96 - 2.78	3.01 - 4.26
Zn	ppm	3.64 - 5.15	3.99 - 5.65	3.78 - 5.36	5.60 - 7.93
Cu	ppm	2.59 - 3.67	1.89 - 2.68	2.80 - 3.97	1.92 - 2.73
B	ppm	24.83 - 35.18	31.25 - 44.28	23.96 - 33.94	31.27 - 44.30
Washington, E.U.A.					
N _{total}	%	1.71 - 2.43	1.84 - 2.61	1.71 - 2.43	1.96 - 2.78
NO ₃	ppm	822.4 - 1165	924.8 - 1310	769.9 - 1091	975.4 - 1382
P	%	0.067 - 0.095	0.094 - 0.134	0.024 - 0.034	0.030 - 0.043
K	%	0.504 - 0.714	0.534 - 0.757	0.454 - 0.643	0.406 - 0.575
Ca	%	0.120 - 0.170	0.108 - 0.154	0.091 - 0.129	0.110 - 0.155
Mg	%	0.089 - 0.126	0.125 - 0.177	0.071 - 0.101	0.143 - 0.203
(Ca+Mg)/K	Meq/g	0.865 - 1.226	0.927 - 1.313	0.748 - 1.060	1.390 - 1.969
Ca/(K+Mg)	Meq/g	0.259 - 0.367	0.186 - 0.264	0.216 - 0.306	0.220 - 0.312
Mg/(K+Ca)	Meq/g	0.343 - 0.486	0.423 - 0.599	0.312 - 0.442	0.643 - 0.911
Ca/Mg	Meq/g	0.871 - 1.234	0.581 - 0.823	0.802 - 1.135	0.519 - 0.735
K/Mg	Meq/g	1.764 - 2.499	1.683 - 2.384	2.008 - 2.845	1.044 - 1.479
Na	ppm	0.020 - 0.028	0.022 - 0.031	0.019 - 0.027	0.017 - 0.025
Fe	ppm	19.18 - 27.17	20.86 - 29.55	19.25 - 27.27	19.46 - 27.57
Mn	ppm	1.71 - 2.43	4.20 - 5.95	1.68 - 2.38	4.31 - 6.10
Zn	ppm	3.64 - 5.15	3.57 - 5.06	3.08 - 4.36	3.64 - 5.16
Cu	ppm	2.03 - 2.88	2.97 - 4.21	2.31 - 3.27	2.87 - 4.07
B	ppm	21.13 - 29.93	21.64 - 30.65	24.54 - 34.76	20.53 - 29.08

da a mantener la firmeza y disminuir la incidencia de desórdenes fisiológicos como corazón acuoso, mancha amarga y colapso interno. La descomposición en postcosecha también puede reducirse por el incremento en el contenido de Ca en la fruta

(Conway *et al.*, 2002). En el Cuadro 3 se puede observar que una y otra variedades de ambos países guardan en general un comportamiento constante de las relaciones de los macronutrientes con respecto al Ca; tanto en la pulpa como en la cáscara

Cuadro 3. Proporciones minerales en frutos de dos variedades de manzana en postcosecha.

Nutriente	Chihuahua, México				Washington, E.U.A.			
	Red Delicious		Golden Delicious		Red Delicious		Golden Delicious	
	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara
Macronutrientes / Ca(%)								
N _{total}	23	10	15	11	25	19	16	18
NO ₃	1	1	1	1	1	1	1	1
P	0.4	0.3	1	1	0.3	0.3	1	1
K	6	5	6	7	7	4	7	5
Mg	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1
Relaciones de Cationes / (Ca / (K+Mg) (meq/g)								
(Ca+Mg)/K	2	3	2	3	6	6	5	5
Mg/(K+Ca)	1	1	1	1	2	3	2	2
Ca/Mg	5	4	5	7	6	2	5	3
K/Mg	15	9	18	20	15	5	10	9
Micronutrientes / B (ppm)								
Na	7	3	6	3	9	9	10	10
Fe	1	1	1	1	1	1	1	1
Mn	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
Zn	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Cu	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
Macronutrientes / B (ppm)								
Ca	31	28	33	28	37	53	57	50
K	185	137	198	162	185	198	239	247

ra la proporción de N/Ca se encuentra, en todos los casos, dentro de los límites aceptables mencionados por Shear (1975), quien reporta que con una proporción N/Ca de 10 en base a peso seco en la pulpa de la manzana, ésta puede ser almacenada por un largo tiempo en buenas condiciones. En contraste, si N/Ca se incrementa a 30, la fruta ciertamente sufrirá colapso senescente y no puede ser almacenada. Se ha visto que el máximo crecimiento y productividad ocurren solamente cuando coinciden la concentración óptima y el balance entre nutrientes (Faust, 1989). Este concepto ha sido especialmente importante cuando es aplicado a la almacenabilidad de la fruta.

El fruto requiere cantidades considerables de Mg; mientras que en las hojas de

manzano la concentración de Ca en base a peso seco es casi 5 veces la del Mg, en el fruto la concentración de Mg con relación al Ca es de 2 a 1 (Faust, 1989).

En el Cuadro 4 se observa que la manzana de Chihuahua presentó una proporción de Mg con respecto a Ca de un 45 a 64 % menor que la de Washington, presentando deficiencia mineral de este nutriente tanto en la cáscara como en la pulpa, lo que afecta asimismo la concentración de las relaciones minerales con K y Ca. La manzana de Washington se distingue por tener mayor peso y tamaño, lo que puede estar relacionado con un mayor contenido de Mg, ya que se ha reportado que cuando el árbol tiene deficiencia de este nutriente, se producen frutos pequeños, se disminuye la proporción de N proteico, se incre-

Cuadro 4. Contrastación mineral entre los valores de Chihuahua/Washington en frutos de dos variedades de manzana en postcosecha.

Nutriente	Red Delicious		Golden Delicious	
	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara
Macronutrientes / Ca (%)				
N _{total}	1.01	0.26 ^{MDN}	0.72	0.43 ^{MDN}
NO ₃	1.10	0.85	0.74	0.71
P	1.33	0.85	0.74	0.71
K	0.94	1.06	0.63 ^{DN}	0.99
Ca	1.10	0.85	0.74	0.71
Mg	0.55 ^{DN}	0.43 ^{MDN}	0.37 ^{MDN}	0.36 ^{MDN}
Relaciones de Cationes / (Ca / (K+Mg) (meq/g)				
(Ca+Mg)/K	0.53 ^{DN}	0.43 ^{MDN}	0.60 ^{DN}	0.60 ^{DN}
Ca/(K+Mg)	0.80	1.15	1.23	1.00
Mg/(K+Ca)	0.80	0.38 ^{MDN}	0.62 ^{DN}	0.50 ^{DN}
Ca/Mg	1.33	2.30 ^{MDF}	1.23	2.33 ^{MDF}
K/Mg	1.60 ^{DF}	2.07 ^{MDF}	2.21 ^{MDF}	2.22 ^{MDF}
Micronutrientes / B (ppm)				
Na	0.79	0.53 ^{DN}	0.76	0.42 ^{MDN}
Fe	1.02	1.58 ^{DF}	1.26	1.41
Mn	1.02	0.79	1.26	0.71
Zn	2.04 ^{MDF}	1.58 ^{DF}	0.63 ^{DN}	0.71
Cu	1.02	1.05	1.26	1.41
B	1.02	1.58 ^{DF}	1.26	1.41
Macronutrientes / B (ppm)				
Ca	1.07	0.54 ^{DN}	0.59 ^{DN}	0.50 ^{DN}
K	1.00	0.69 ^{DN}	0.83	0.66 ^{DN}

Desbalance de nutrientes:
^{DN} deficiente (0.50 – 0.71).
^{MDN} muy deficiente (0.25 – 0.50).
^{EDN} extremadamente deficiente (< 0.25).

Desbalance fisiológico:
^{DF} deficiente (1.41 – 2.00).
^{MDF} muy deficiente (2.00 – 4.00).
^{EDF} extremadamente deficiente (> 4.00).

menta el no proteico y ocurre una reducción de la tasa fotosintética (Marschner, 1986). Por otra parte, altas concentraciones de Mg pueden provocar bajas concentraciones de Ca en el fruto (Spiers y Braswell, 1994). La fertilización con Mg produce frutos más firmes y con menos sólidos solubles al momento de cosecha. Después de almacenamiento las frutas también contienen más sólidos solubles y tienen más

acidez titulable.

Son importantes las proporciones apropiadas entre Ca y B, y entre K y B. Una proporción alta consistentemente entre (Ca+Mg)/K resultará en toxicidad por B, pero una proporción alta de (K+Mg)/Ca tiene poco efecto sobre la aparición de toxicidad por B a las mismas concentraciones de B. Se ha visto que altos niveles de B afectan la calidad de fruto de manzana (Anonymous, 1998). La deficiencia de B en diversas especies de plantas es común en el ámbito mundial, y en manzano es de gran preocupación agronómica. Peyrea (1994) reporta que los síntomas de deficiencia de B resultan en frutos pequeños, achatados o frutos deformados, con corcho interno, agrietamiento y roseteado, maduración prematura, incremento de la caída del fruto y baja cantidad de semillas.

En el Cuadro 4 se observa que en ambas variedades de Chihuahua se presenta una deficiencia mineral de N y Na en la cáscara, donde la concentración fue de un 57 % a 74 % menor de la que presenta la manzana de Washington. Es probable que la apariencia más fresca y brillante de esta manzana se relacione con el contenido de N en la cáscara. El nivel de fertilización nitrogenada en manzano afecta la calidad, el color, la firmeza y la vida de almacenamiento (Olsen *et al.*, 1967); asimismo se ha reportado que N, P y B promueven directamente la división y elongación celular, favoreciendo un mayor diámetro del fruto y peso del mismo (Shear y Faust, 1975), aunque también se ha visto que con exceso de N se afecta desfavorablemente el color rojo y disminuye la firmeza durante el almacenamiento (Cooper, 2001).

'Red Delicious' de Chihuahua presentó deficiencia mineral de Zn/B en la pulpa,


y en la cáscara deficiencia fisiológica de Fe/B, Zn/B, y Cu/B. Son bien conocidos los efectos provocados por una deficiencia de B. Existe una larga lista de funciones en las que se ha comprobado la participación de B, tales como transporte de azúcares, síntesis de la pared y membrana celular, lignificación, estructura de la pared celular, metabolismo de carbohidratos, metabolismo del ácido ribonucleico, respiración, metabolismo del ácido indolacético y metabolismo de los fenoles, entre otras funciones (Sosa, 2000).

En ambas variedades de Chihuahua se encontró que las relaciones K/B y Ca/B presentaron deficiencia mineral en la cáscara, así como la relación Ca/B en pulpa de 'Golden Delicious' Chihuahua. Diversos trabajos han considerado relaciones antagónicas entre Ca, Mg y K en relación a la severidad de la mancha amarga (Brauer, 1994). Scott *et al.* (1986) señalan la naturaleza fisiológica de la mancha amarga asociada con bajos niveles de calcio en combinación con altos niveles de K o Mg. Por otro lado, Kupferman y Waely (1991) resaltan por su parte el desbalance mineral dentro del fruto asociado con este desorden, indicando que las variedades más susceptibles son 'Granny Smith', 'Jonagold' y 'Golden Delicious', más que 'Red Delicious'. Se considera que altos niveles de N ó K en el árbol predisponen a los frutos a este desorden, pero P y S aparentemente contrarrestan los efectos de estos nutrientes (Ogawa e English, 1991).

Conclusiones

Se generaron los estándares minerales de fruto en cáscara y pulpa en postcosecha para cada variedad, tanto de las producidas en Chihuahua, México, como de las de

Washington, E.U.A. En cada caso se observó que existen gradientes de concentración mineral entre la cáscara y la pulpa.

Las variedades de Chihuahua presentaron consistentemente un contenido de Mg menor al 50 % que las de Washington, lo cual repercutió en las relaciones minerales con Ca y K, esto podría contribuir a explicar el hecho de que éstas últimas posean un tamaño mayor. También se encontró un contenido de N y Na en la cáscara de 60 % a 74 % menor. Es probable que la apariencia más fresca y brillante de esta manzana se relacione con el contenido de N en la cáscara. Las relaciones K/B y Ca/B también fueron significativamente menores en la cáscara. En la manzana de Washington se observó un efecto positivo entre los parámetros minerales y la calidad del fruto, lo que en conjunto explica su mejor apariencia. 

Literatura citada

- ANONYMOUS. 1998. The benefits of boron. *Western Fruit Grower* 118(6): 36-37.
- ANONYMOUS. 2004. Testing for Quality. *Western Fruit Grower* 124 (1): 18-19.
- BOTIA, M., C. Alcaraz-López, C.F. Alcaraz, and F. Riquelme. 2002. Effect of the foliar application of sprays containing calcium, amino acid and titanium on capsicum (*Capsicum annum L.*, CV Olmo) Fruit quality. *Memorias del IX simposio Ibérico sobre nutrición mineral de las plantas*. pp: 203-205.
- BRAMLAGE, W.J., M. Drake and J.H. Baker. 1974. Relationship of calcium content to respiration and postharvest condition of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99 (4): 376-378.
- BRAUER, D. 1994. Potassium inhibition of calcium and magnesium accumulation in roots of intact maize seedlings. *J. Plant Nutrition* 17 (5): 709-716.
- BREMNER, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. In: *Methods of Soil Analysis*. Page, A. L., R.H. Miller, D.R. Keeney (eds.). Agronomy No. 9, part 2, 2nd edition. *ASA Soil Science Society or American Books*. Madison, WI., USA. pp: 495-624.
- CONWAY, W.S., C.E. Sams and K.D. Hickey. 2002. Pre- and post harvest calcium treatment of apple fruit and its effect on quality. *Acta Hort.* (ISHS) 594: 413-419.
- COOPER, T. 2001. Nitrógeno y calidad en manzanas 'Delicious'. *Revista UNIFRUT* 6(1): 10-11.
- COTTENIE, A. 1994. Workshop on Standardization of Analytical Methods for Manure, Soil Plant and Water. Commission European Communities. *FAO Soils Bulletin* 38/2. pp: 28-33.

- DAVENPORT, J.R. and F.J. Peyrea. 1989. Whole fruit mineral element content and respiration rates of harvested 'Delicious' apples. *J. Plant Nutrition* 12(6): 701-713.
- FAUST, M. 1989. Physiology of Temperate Zone *Fruit Trees*. Wiley Editor. New York, U. S. A. pp: 67-122.
- FAUST, M. and C.B. Shear. 1980. Nutritional ranges in deciduous fruit tree and nuts. *Horticultural Review* 3(2):142-163.
- HERNÁNDEZ, A., J.M. Soto, J.X. Uvalle, E. Sánchez, R.M. Yáñez y L. Romero. 2001. Contenido nutricional foliar y calidad de frutos en manzano 'Golden Delicious' como resultado de las aplicaciones de calcio durante el desarrollo del fruto. Ed. Luis Romero. Granada, España. pp: 38-88.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Inc. (London) LTD. p. 674.
- KUPFERMAN, E., and H. Waelti. 1991. Postharvest diseases and disorders of apples and pears. *Tree Fruit Postharvest Journal Management of Postharvest Diseases and Disorders*. Washington State University 2:5-8.
- OGAWA, M., and J. English. 1991. Apple quality as related to nitrogen and phosphorus nutrition. *J. Plant Nutrition* 17 (6): 1005-1015.
- OLSEN, L.K., A.H. Scomer and D.R. Bartram. 1967. Segregation of 'Golden Delicious' apples for quality by light transmission. *American Society for Horticultural Science* 91:821-828.
- PEYREA, F.J. 1994. Boron nutrition in deciduous tree fruit. *Tree fruit nutrition*. Edited by A. Brooke Peterson, Robert G. Stevens. Published by Good fruit grower, Yakima, Washington. pp: 95-107.
- SAMS, C.E. 1994. Management of postharvest disease resistance in horticultural crops. *Hort Science* 29 (7):746-749.
- SÁNCHEZ, E., J.M. Soto, J.X. Uvalle, A.P. Hernández, J.M. Ruiz, and Romero. 2001. Chemical treatments in 'Golden Delicious Spur' fruits in relation to russetting and nutritional status. *Journal of Plant Nutrition* 24(1):191-202.
- SCOTT, K.L., R.B.H. Wills and C.M.C. Yuen. 1986. Reduction of bitter pit of apples with phorone. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 21(2):268-270.
- SHEAR, C.B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10(4):361-365.
- SHEAR, C.B. and M. Faust. 1975. Preharvest nutrition and postharvest physiology of apple. *In: Postharvest Biology and Handling of Fruits and Vegetables*. N. F. Haard and D. B. Salunkhel (eds). Avi, Westport, Conn. The Avi Publishing Company, Inc. pp: 35-42.
- SHEWELT, R.L. 1990. Sources of variation in the nutrient content of agricultural commodities from the farm to the consumer. *J. Food Qual.* 13:37-54.
- SOSA, D.H. 2000. El boro en los frutales del género *Prunus*, *Pyrus* y *Malus*. Directorio BuscAgro [http:// www.buscagro.com](http://www.buscagro.com). Recuperado 15/03/05.
- SPIERS, J.M. and J.H. Braswell. 1994. Response of 'Sterling' muscadine grape to calcium, magnesium and nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition*. 17 (10):1739-1750.
- SOTO, J.M., A.P. Hernández, E. Sánchez, R.M. Yáñez, F. Montes, y L. Romero. 2001. Abastecimiento convencional e integral de calcio en manzano (*Malus domestica* Borkh.) 'Red Delicious'. Ed. Luis Romero. Granada España. p. 72.
- SOTO, J.M., J.X. Uvalle, E. Sánchez, R.M. Yáñez y F. Montes. 2003. Diagnóstico Diferencial Integrado: una herramienta para el uso racional de fertilizantes. *Fruticultura profesional* 139(2):152-156.
- WILSON, L.G., M.D. Boyette, y E.A. Estes. 1999. Postharvest handling and cooling of fresh fruits, vegetables and flowers for a small farms. *Hort. Info. Leaf*. No.800-3. Postharvest Handling of Horticultural Crops. North Carolina Cooperative Extension Service. pp: 55-86.

Este artículo es citado así:

- MANCERA-LÓPEZ, M. M., J. M. Soto Parra, E. Sánchez Chávez, R. M. Yáñez Muñoz, F. Montes Domínguez Quintana y R. R. Balandrán. 2007. Caracterización mineral de manzana *Red Delicious* y *Golden Delicious* de dos países productores. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 1(2): 6-17.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

MARÍA MAGDALENA MANCERA LÓPEZ. Durante el periodo 1971-1976 cursó la carrera de Ingeniero Químico Bromatólogo en la Escuela de Química, hoy Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). En el año 2005 recibió el grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por la Facultad de Ciencias Químicas (UACH). Fue profesora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (UACH) durante los años 1976 a 2004 y actualmente se desempeña como académica en el Instituto Tecnológico de Chihuahua I.

JUAN MANUEL SOTO PARRA. En el periodo 1977-1981 cursó la licenciatura en la Escuela Superior de Fruticultura de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), hoy Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (FACIATEC), institución que le otorgó el título de Ingeniero Fruticultor. En el año de 1992 terminó su programa de maestría en la misma institución (FACIATEC), recibiendo el grado de Maestro en Ciencias en Productividad Frutícola. Durante los años 2000 a 2004 ocupó el cargo de Director de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (UACH), institución donde realiza sus labores docentes y de investigación; sus áreas de especialización son la Fisiología y Nutrición Vegetal, con énfasis en la Fisiología de la Producción en los cultivos de manzano y nogal pecanero. Actualmente se encuentra realizando sus estudios de doctorado en el área de Recursos Naturales de la Facultad de Zootecnia (UACH).

ESTEBAN SÁNCHEZ CHÁVEZ. Realizó sus estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo (Chapingo), obteniendo en 1992 el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia. Terminó su programa de maestría en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), otorgándosele en 1996 el grado de Maestro en Ciencias, con especialidad en Productividad Frutícola. Recibió el grado de Doctor en Ciencias especialidad Fisiología Vegetal por la Universidad de Granada (España). Actualmente es miembro de comités editoriales de varias revistas y ha sido distinguido por el Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT (S.N.I.) como Investigador Nacional Nivel 2; su productividad científica ha sido muy prolífica, ya que incluye la publicación de artículos científicos, capítulos de libros, participación como ponente en congresos científicos nacionales e internacionales y otras. Las principales áreas de su investigación son: fisiología del estrés en plantas, nutrición vegetal y fisiología postcosecha.

ROSA MARÍA YÁÑEZ MUÑOZ. De 1985 a 1989 cursó la licenciatura de Ingeniero Fruticultor en la Escuela Superior de Fruticultura, hoy Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de maestría en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (UACH) en el periodo 1991-1993, recibiendo el grado de Maestro en Ciencias, especialidad en Ciencias de la Productividad Frutícola. Actualmente se encuentra desarrollando proyectos de investigación en los campos de la Fisiología y Nutrición Vegetal, centrándose específicamente en la Fisiología de la Producción, en los cultivos de manzano y nogal pecanero. Además de desempeñar sus labores docentes y de investigación, la M. C. Yáñez es la responsable del Laboratorio de Análisis de Suelo, Planta y Agua de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.

FEDERICO MONTES DOMÍNGUEZ. Durante el periodo 1976-1989 cursó la carrera de Ingeniero Fruticultor en la Escuela Superior de Fruticultura de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), hoy Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (FACIATEC). Realizó estudios de posgrado en la FACIATEC, institución que le otorgó en 1998 el grado de Maestro en Ciencias de la Productividad Frutícola. Actualmente labora como académico de la Universidad Autónoma de Chihuahua y está adscrito a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, realizando investigación en las áreas de Fisiología y Nutrición Vegetal con énfasis en la Fisiología de la Producción en los cultivos de manzano y nogal pecanero. Desde el año 2004 ocupa el cargo de Responsable Técnico de la Unidad Experimental "La Semilla" de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

RENÉ RENATO BALANDRÁN QUINTANA. Egresó en 1989 de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), otorgándosele el título de Ingeniero Químico Bromatólogo. En 1994 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias, con especialidad en Ciencia y Tecnología de Alimentos por la misma Facultad de Ciencias Químicas (UACH). Realizó estudios de doctorado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), con sede en la ciudad de Hermosillo, Sonora, institución que le otorgó en el año 2002 el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Sus intereses en investigación se centran en la fisiología postcosecha de frutas y hortalizas y en la nanotecnología aplicada al procesamiento de alimentos.

Análisis de membranas poliméricas compuestas por Microscopía de Fuerza Atómica

Atomic Force Microscopy analysis of polymeric composite membranes

LUISA PIROSHKA TERRAZAS-BANDALA¹, GUILLERMO GONZÁLEZ-SÁNCHEZ²,
GUADALUPE VIRGINIA NEVÁREZ-MOORILLÓN³, MARÍA DE LOURDES BALLINAS-CASARRUBIAS^{3,*}

Recibido: Abril 30, 2007

Aceptado: Agosto 31, 2007

Resumen

Entre los métodos más novedosos para la caracterización superficial de materiales sólidos se encuentra el microscopio de fuerza atómica, el cual permite obtener datos de rugosidad, porosidad y formación de nódulos en superficie. En el presente trabajo se prepararon membranas de triacetato de celulosa y nanopartículas de carbón activado por medio de evaporación de solvente en diferentes condiciones fisicoquímicas. Se utilizó el microscopio de fuerza atómica en su modalidad de "tapping" para la obtención de imágenes de altura y fase de la superficie de las membranas con el fin de estudiar la nanodispersión de las partículas en la matriz polimérica. En general las membranas más homogéneas se obtuvieron a bajas temperaturas (35 °C) y mayor humedad (70 % HR).

Palabras clave: Membranas, microscopía de fuerza atómica, carbón activado.

Abstract

Atomic Force Microscopy is a novel method for solid surface characterization. With this technique it is possible to obtain data such as roughness, porosity and nodules formation on the surface of materials. In this work, triacetate cellulose and activated carbon nanoparticles composite membranes were cast by solvent evaporation on different physicochemical conditions. Tapping mode in AFM was used to obtain images from height and phase contrast, to evaluate particle nanodispersion on the polymeric matrix. Generally, more homogeneous membranes were obtained at low temperature (35 °C) and high relative humidity (70 % RH).

Keywords: Membranes, atomic force microscopy, activated carbon.

¹ Estudiante de doctorado del Centro de Investigación en Materiales Avanzados de Chihuahua (CIMAV).

² Investigador asociado del Centro de Investigación en Materiales Avanzados de Chihuahua (CIMAV).

³ Profesores de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito Universitario S/N, Chihuahua, Chih. México. Teléfono (614) 414-4492.

* Dirección electrónica del autor de correspondencia: mballinas@uach.mx.

Introducción

En el estado del arte de la nanotecnología se encuentra el desarrollo de nanoestructuras disponibles en macrosuperficies para crear materiales que combinen funcionalidad, alta selectividad y estabilidad; cuyas propiedades difieran apreciablemente de las del material en el bulto. A este tipo de materiales se les considera bajo el término de nanocompuestos (Esteves, 2005; Kear, 1998; Min, 2003). Las características de los materiales en bulto pueden verse dramáticamente modificadas al incluir dentro de su estructura nanopartículas. Éstas afectan propiedades tales como la rigidez del material, propiedades de adsorción, propiedades eléctricas, de conductividad, de quimisorción, etc. (Schmidt, 2003).

Uno de los aspectos más importantes en la obtención de membranas nanocompuestas es contar con los métodos de análisis que permitan elucidar sus características estructurales. Entre los métodos más novedosos que se utilizan para dilucidar la estructura superficial de las membranas se encuentra la microscopía de fuerza atómica (AFM por sus siglas en inglés).

El microscopio de fuerza atómica (AFM) desarrollado por Binnig y colaboradores permite la obtención de imágenes de muestras no conductoras hasta escalas nanométricas (Binnig, 1986). La mayor ventaja del AFM sobre el microscopio electrónico de transmisión es que no se requiere de tratamiento previo para la preparación de muestras (Park, 2004). De las imágenes superficiales obtenidas por AFM, en el modo de altura (Z), se pueden obtener varios parámetros morfológicos, incluyendo la rugosidad y la desviación estándar de los valores de esta coordenada. Existen a la fecha varios estudios efectuados con el AFM que relacionan propiedades de permeabilidad y estructura interna de las membranas con los resultados de rugosidad, tamaño de poro, tamaño y distribución de nódulos y morfología general del material (Khulbe

1997; 2000; 2004; Khayet, 2004; Singh, 1998).

En particular, existen estudios en los que se ha determinado la influencia de diferentes condiciones de preparación de membranas asimétricas de acetato de celulosa y de butirato-acetato de celulosa, utilizadas en procesos de nanofiltración y ósmosis inversa, en la rugosidad del material (Stamatialis, 1999). Para las membranas de acetato de celulosa con menor rugosidad, la retención aumentó y los flujos disminuyeron al incrementar los tiempos de evaporación. Otros estudios superficiales realizados en películas de poli (etilen-tereftalato) (PET) por AFM han mostrado que se puede distinguir entre las regiones cristalinas y amorfas del material. También se ha sugerido que las irregularidades de la superficie pueden afectar las propiedades fisicoquímicas de la película (Gould, 1997; Elimelch, 1997; Hamza, 1997).

Las imágenes de contraste de fase son una poderosa extensión del modo de contacto intermitente (*tapping*, en inglés) en el AFM, ya que proveen de información a escala nanométrica sobre estructuras de la superficie y propiedades regularmente no reveladas por otras técnicas microscópicas.

En esta técnica se registra el retraso de la fase de oscilación del cantilever en el modo intermitente. Las imágenes obtenidas, además de evidenciar la topografía, detectan, según los parámetros y la punta que se utilice, variaciones en la composición, adhesión, fricción, visco-elasticidad y otras variables. De esta manera es posible obtener mapas de diferentes componentes en materiales compuestos y diferenciar regiones de alta y baja adhesión o dureza superficial.

En este trabajo se prepararon membranas compuestas de triacetato de celulosa (TC) y nanopartículas de carbón activado, a ser utilizadas en procesos de filtración en diferentes condiciones de temperatura y humedad. Se obtuvieron imágenes de superficie y de fase por AFM con el fin de evidenciar la nanodispersión de las partículas en el material y corroborar su homogeneidad. Los datos obtenidos por esta técnica complementan la información necesaria para el uso del material en operaciones membranales de gran escala.

Materiales y métodos

Se obtuvieron nanopartículas de carbón activado (Carbochem) por medio de solvatación química (Ballinas, 2004), y se adicionaron como relleno a una matriz polimérica de TC (Sigma-Aldrich). Se prepararon membranas compuestas por medio de evaporación de solvente (cloruro de metileno, Sigma Aldrich) a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa (35-55° C, 10-70% HR) en una cámara controlada (Shellab) para tres cargas de las partículas (CC: 0, 1, 3% p/p) (Ballinas, 2006).

El análisis en AFM se realizó utilizando un microscopio de fuerza atómica Nanoscope IV de Digital Instruments® (San-

ta Bárbara, CA). Las muestras se montaron en un disco de acero inoxidable con cinta adhesiva y se colocaron en un portamuestras.

Se obtuvieron imágenes en el modo de tapping utilizando puntas suaves de fósforo recubiertas de sílice modelo RTESP (Veeco®), las cuales tienen un rango de frecuencia de oscilación óptima entre 276 y 316 KHz. Se utilizaron velocidades de barrido en el intervalo de 2-3 Hz. Los parámetros, especialmente la altura de partida, la amplitud y la retroalimentación se ajustaron para obtener la mejor resolución. Para cada muestra se tomaron imágenes en diferentes puntos para obtener datos confiables y reproducibles. Se tomaron las señales de salida correspondientes a la altura y al contraste de fases. Los análisis de rugosidad de las imágenes se realizaron con el software Nanoscope 5.30r3sr3®.

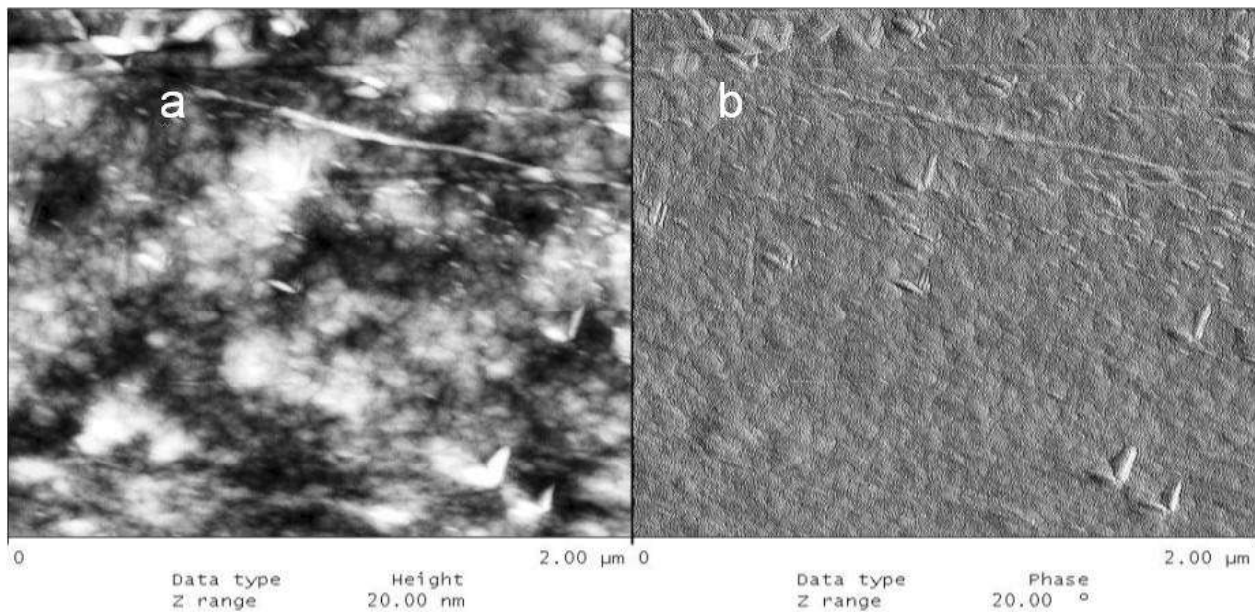
Resultados y discusión

La resolución que se puede alcanzar utilizando el microscopio de fuerza atómica depende tanto del equipo utilizado como de la muestra que será analizada. En cuanto al equipo, el alcance de la resolución está determinado principalmente por el rango de voltaje del escáner y por las dimensiones de la punta que se utilice en la medición.

La rugosidad de la muestra limita la velocidad del barrido y ésta a su vez restringe el área del análisis (Khulbe, 2000). Existen otros factores externos que pueden limitar la resolución del equipo, como el ruido ambiental y las vibraciones del suelo. Considerando estos parámetros se lograron realizar barridos de las membranas del orden de 2 μm^2 .

Para las membranas de triacetato de

Figura 1. Imágenes por AFM de la membrana: T= 55 °C, 10% Hr y 0% CC.



(a) Imagen de altura, escala en Z = 20.00 nm.
(b) Imagen de contraste de fase, escala en Z = 20.00°.

celulosa sin carga de carbón se realizaron mediciones en áreas tomadas al azar. Las figuras 1 y 2 muestran las imágenes de altura y contraste de fase de las membranas preparadas a 55 °C, 10% HR, 0% CC y 35 °C, 70% HR, 0% CC respectivamente.

En la figuras 1(a) y 2(a), en las imágenes de altura se observan cúmulos de hasta 20 nm de altura, que sobresalen de la superficie de las membranas. Sin embargo, en las imágenes de contraste de fase [figuras 1(b) y 2(b)] no se observan diferencias en el ángulo de difracción, lo que indica que los cúmulos observados en las imágenes de altura corresponden a nódulos formados por el mismo material polimérico.

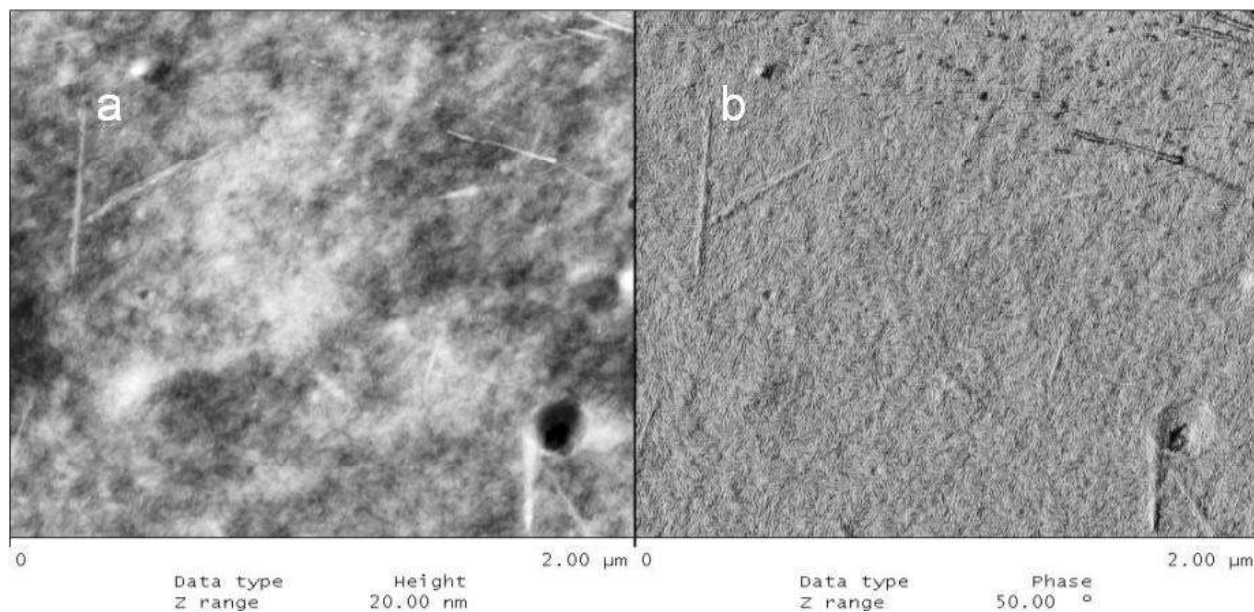
El contraste de fase en AFM tiene especial utilidad para el análisis de muestras que presentan contraste en pequeñas escalas, tales como mezclas de materiales blandos y duros. En un estudio del efecto

de un compatibilizador en nanocompuestos de acetato de celulosa y arcillas orgánicas (Park 2004), las imágenes de contraste de fase muestran claramente la diferencia entre los dos materiales. Adicionalmente a algunas pruebas mecánicas, se reporta la relación entre la nanodispersión de las arcillas y la carga del compatibilizador.

Las imágenes de altura se analizaron con el software Nanoscope 5.30r3sr3 para obtener parámetros de rugosidad. Los valores obtenidos nos brindan información adicional sobre la superficie de las membranas. Tomando en consideración que el área de análisis es extremadamente pequeña con respecto al total, se realizaron numerosos barridos en la superficie de la membrana.

En el Cuadro 1 se muestran los valores de desviación estándar media en el eje Z (Rms) y los valores de desviación estándar

Figura 2. Imágenes por AFM de la membrana: T=35 °C, 70% Hr y 0% CC.



(a) Imagen de altura, escala en Z = 20.00 nm.

(b) Imagen de contraste de fase, escala en Z = 50.00°.

dar máxima (rmax) para las membranas de triacetato de celulosa sin carga de carbón. En estas membranas se observa un efecto por la interacción de temperatura y humedad. En general las membranas más homogéneas (valores menores de Rms y rmax) se obtuvieron a menores temperaturas y mayor humedad. Esto concuerda con los análisis realizados en las imágenes obtenidas por SEM (Ballinas, 2006) y con los resultados de ángulo de contacto.

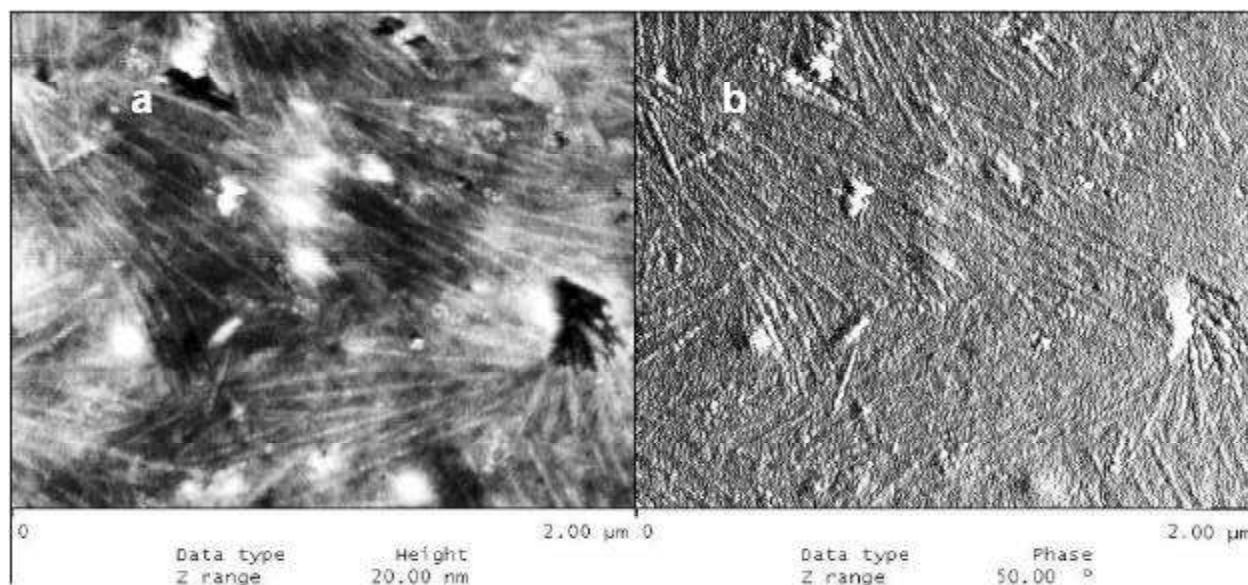
Cuadro 1. Valores nanométricos de Rms y rmax, obtenidos de imágenes de altura por AFM de las membranas sin carga de carbón.

	10% Hr	40% Hr	70% Hr
35°C	Rms - 1.519	Rms - 1.418	Rms - 1.395
	rmax - 20.619	rmax - 20.028	rmax - 29.801
45°C	Rms - 1.349	Rms - 1.180	Rms - 1.493
	rmax - 22.995	rmax - 14.752	rmax - 14.177
55°C	Rms - 2.236	Rms - 2.462	Rms - 1.551
	rmax - 22.798	rmax - 27.592	rmax - 25.767

Para las membranas compuestas preparadas con 1 % de carga de carbón las imágenes se obtuvieron específicamente en las áreas donde no se observaron acumulaciones de carbón mayores de 100 nm (observado con el microscopio óptico acoplado al AFM).

Los valores de Rms y rmax (Cuadro 2), para estas membranas no presentan diferencias significativas entre sí, sin embargo son consistentemente mayores a los obtenidos en las membranas sin carbón. La obtención de imágenes de las membranas con 1 % de CC presentó grandes dificultades, ya que constantemente se perdía contacto entre la superficie de la muestra y la punta, debido a la rugosidad causada por los cúmulos de carbón. Por esta misma razón no fue posible obtener imágenes de las membranas preparadas con 3 % de CC.

Figura 3. Imágenes por AFM de la membrana: T=35 °C, 70% Hr y 1% CC.



(a) Imagen de altura, escala en Z = 20.00 nm.

(b) Imagen de contraste de fase, escala en Z = 50.00°.

Cuadro 2. Valores nanométricos de Rms y rmax, obtenidos de imágenes de altura porAFM de las membranas con 1 % de carga de carbón.

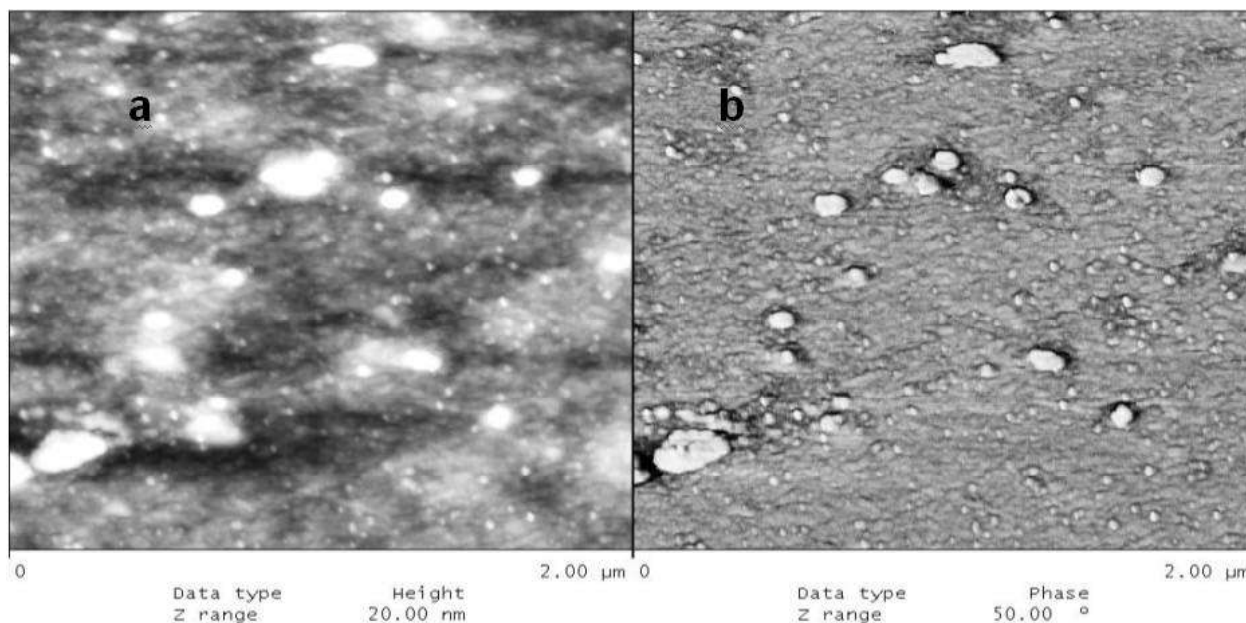
	10% Hr	40% Hr	70% Hr
35°C	Rms - 1.662 rmax - 31.426	Rms - 2.337 rmax - 31.432	Rms - 2.151 rmax - 36.648
45°C	Rms - NR rmax -	Rms - 1.662 rmax - 25.854	Rms - 1.418 rmax - 12.330
55°C	Rms - 2.856 rmax - 39.007	Rms - NR rmax -	Rms NR rmax -
NR - No registrado.			

De todas las membranas analizadas, la que se preparó a 35°C, 70% HR y 1% de CC fue la única que presentó patrones de rugosidad, fácilmente observados en las imágenes de altura [Figura 3(a)] los cuales no se observan en la membrana obtenida sin carga de carbón [Figura 2(a)]. Esto puede ser resultado de un acomodo de moléculas más ordenado derivado de un mayor tiempo de evaporación y de la interacción de las partículas de carbón en el proceso de moldeado.

La Figura 4 muestra imágenes de AFM obtenidas de una membrana preparada con 1 % de carga de carbón a 35 °C y 40% Hr. En estas imágenes se observan cúmulos que sobresalen en la imagen de altura [Figura 4(a)], y en la imagen de contraste de fase [Figura 4(b)] se observan claras diferencias en el ángulo de difracción, lo que indica una diferencia de material. Esto permite suponer que los cúmulos que sobresalen son nanopartículas de carbón dispersas sobre el material polimérico.

Es importante señalar que las partículas de carbón del orden nanométrico que se observan en AFM no fueron distinguibles en las micrografías del microscopio de transmisión electrónica (TEM). El análisis de las imágenes por SEM de las membranas (Ballinas, 2006) permitió estimar un tamaño promedio de partícula de 1.6 µm, por lo que se efectuarán pruebas adicionales de distribución de tamaño de partí-

Figura 4. Imágenes por AFM de la membrana: T= 35 °C, 40% Hr y 1% CC.



(a) Imagen de altura, escala en Z = 20.00 nm.


(b) Imagen de contraste de fase, escala en Z = 50.00°.

culas por Difracción Láser (Master Sizer MS2000, Malvern Instruments®), utilizando distintos solventes en la medición.

Conclusiones

Se obtuvieron imágenes de alta resolución en el AFM, tanto de altura como de fase, de las membranas de triacetato de celulosa producidas con 0 y 1 % de carga de carbón. Estas imágenes muestran el grado de nanodispersión alcanzado por las partículas de carbón en la matriz polimérica según las condiciones fisicoquímicas en que se obtuvieron las membranas. Los valores de desviación estándar máxima para el eje Z (rmax) se encuentran en el rango de 12 a 39 nm, lo cual indica homogeneidad en la superficie de las membranas.

La caracterización de la superficie se podrá relacionar con otros datos obtenidos

en pruebas termogravimétricas, mecánicas y de permeabilidad de las mismas membranas. 

Literatura citada

- BALLINAS, L., C. Torras, V. Fierro, R. García-Valls. 2004. Factors influencing activated carbon polymeric composite membrane structure and performance. *J of Physics and Chemistry of solids* 65:633–637.
- BALLINAS, L., Terrazas-Bandala, R. Ibarra-Gomez, M. Mendoza-Duarte, L. Manjarrez- Nevárez, G. Gonzalez-Sanchez. 2006. Structural and performance variation of activated carbon-polymer films. *Polymers for Adv. Tech.* 17:11-12, 991-999.
- BINNIG G, C. F. Quate and Ch. Gerber. 1986. Atomic force microscope. *Phys Rev Lett.* 12:930.
- ELIMELECH, M., X. Zhu, A. E. Childress and S. Hong. 1997. Role of membrane surface morphology in colloidal fouling of cellulose acetate and composite aromatic polyamide reverse osmosis membranes. *J Membrane Sci.* 127:101-109.
- ESTEVEZ, A. C., A. M. Barros-Timmons, J. A. Martins, W. Zhang, J. Cruz-Pinto and T. Trindade. 2006. Crystallization behaviour of new poly (tetra methyleneterephthalamide) nanocomposites containing SiO2 fillers with distinct morphologies. *Composites: Part B.* 36:51–59.
- GOULD, S. A. C., D. A. Schiraldi, and M. L. Occellil. 1997. Analysis of poly(ethylene terephthalate) (PET) films by atomic force microscopy. *J Appl. Polymer Sci.* 65 (7):1237-1243.

- HAMZA, A., G. Chowdhury, T. Matsuura and S. Sourirajan. 1997. Sulphonated poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide)-polyethersulphone composite membranes. Effects of composition of solvent system, used for preparing casting solution, on membrane- surface structure and reverse-osmosis performance. *J Membrane Sci.* 129:55-64.
- KHAYET, M., K.C. Khulbe, and T. Matsuura. 2004. Characterization of membranes for membrane distillation by atomic force microscopy and estimation of their water vapor transfer coefficients in vacuum membrane distillation process. *J Membrane Sci.* 238:199-211.
- KEAR, B. 1998. Nanostructured bulk materials: Synthesis, processing, properties and performance, In R&D Status and Trends. Siegel (eds.). USA.
- KHULBE, K. C., and T. Matsuura. 2000. Characterization of synthetic membranes by Raman spectroscopy, electron spin resonance, and atomic force microscopy; a review. *Polymer* 41:1917-1935.
- KHULBE, K.C., T. Matsuura, G. Lamarche and H. J. Kim. 1997. The morphology characterization and performance of dense PPO membranes for gas separation. *J Membrane Sci.* 135:211-223.
- KHULBE, K.C., F. Hamad, C. Feng, T. Matsuura and M. Khayet. 2004. Study of the surface of the water treated cellulose acetate membrane by atomic force microscopy. *Desalination* 161(3):259-262.
- MIN, J. S., Kiyozumi, Y., and Itoh, N. 2003. Sealant-free preparation technique for high-temperature use of a composite zeolite membrane. *Ind. Eng. Chem. Res.* 42 (1):80-84.
- PARK, H. M., Liang, X; Mohanty, A. K., Misra, M. and Drzal, L. T. 2004. Effect of compatibilizer on nanostructure of biodegradable cellulose acetate/ organoclay nanocomposites. *Macromolecules* 37(24):9076-9082.
- SCHMIDT, G. and M. M. Malwitz. 2003. Properties of polymer-nanoparticle composites. *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 8 (1):103-108.
- SINGH, S., K. C. Khulbe, T. Matsuura and P. Ramamurthy. 1998. Membrane characterization by solute transport and atomic force microscopy. *J Membrane Sci.* 142:111-127.
- STAMATIALIS, D.F., C. R. Dias, and M. N. Pinho. 1999. Atomic force microscopy of dense and asymmetric cellulose-based membranes. *J Membrane Sci.* 160:235-242.

Este artículo es citado así:

- TERRAZAS-BANDALA, L. P., G. González-Sánchez, G. V. Nevárez-Moorillón y M. L. Ballinas-Casarrubias. 2007. Análisis de membranas poliméricas compuestas por Microscopía de Fuerza Atómica. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 1(2): 18-26.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

LUISA PIROSHKA TERRAZAS BANDALA. En el año 2001 recibió el título de Ingeniero Químico opción Alimentos por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), siendo distinguida con una Mención Honorífica por ocupar el Primer Lugar de la XLV Generación gracias a su alto promedio escolar. En abril del 2004 recibió el grado de Maestría en Ciencias, con especialidad en Ciencia y Tecnología de Alimentos, grado que le fue otorgado por la Facultad de Ciencias Químicas (UACH); la brillante defensa de su tesis titulada "Detección del Gen de la Enterotoxina A de *Staphylococcus aureus* en Quesos Tipo Chihuahua por PCR" le fue reconocida con una Mención Honorífica. Actualmente cursa el tercer año del programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, A. C. (CIMAV), con sede en la ciudad de Chihuahua. La M. C. Terrazas se encuentra desarrollando el trabajo de Investigación "Síntesis e implementación de membranas compuestas de tri-acetato de celulosa y partículas de carbón activado para la remoción de arsénico en agua". Como parte de su programa doctoral realiza una estancia de investigación en el Laboratorio MADIREL de la Universidad de Provence, en la ciudad de Marsella, Francia. Durante su etapa de estudiante ocupó el cargo de Consejero Universitario Alumno (Facultad de Ciencias Químicas de la UACH), periodo 1999-2000; además, en el periodo 1999-2000 fue Consejero Técnico Alumno por el área de Ingeniería de la misma Facultad. Actualmente es Miembro Estudiante del International Water Association (IWA), de la Asociación de Tecnólogos en Alimentos México (ATAM) y del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ). Ha participado como ponente en siete congresos nacionales e internacionales y publicado cinco artículos en revistas arbitradas.

GUILLERMO GONZÁLEZ SÁNCHEZ. En el año de 1996 egresó de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), otorgándosele el título de Ingeniero Químico. Fue profesor asistente becado del Departamento de Ingeniería Química de la Universitat Rovira I. Virgili, cuya sede se encuentra en Tarragona, España, otorgándosele en 2001 el diploma de Estudios Avanzados, y en el año 2004 recibió el grado de Doctor en Ingeniería Química y de Procesos. Su área de especialización fue el diseño de reactores, para estudiar la cinética de termohidrólisis de compuestos aromáticos en agua supercrítica. Fue Supervisor de Producción en la industria farmacéutica, cargo que ejerció por espacio de tres años. Actualmente ocupa un cargo de Investigador Asociado en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV) de la ciudad de Chihuahua, México. Durante los últimos años ha adquirido una vasta experiencia en técnicas de caracterización para materiales poliméricos compuestos, así como en el campo de la investigación en las áreas de membranas de nanofiltración, reactores biológicos con membrana y modificación de carbón activado para remediación de agua contaminada. Por su larga experiencia y productividad científica ha sido distinguido por el Sistema Nacional de Investigadores (S.N.I.) del CONACYT como Candidato a Investigador.

MARÍA DE LOURDES BALLINAS CASARRUBIAS. Durante el periodo 1991-1995 realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), obteniendo en 1996 el título de Ingeniero Químico. En septiembre 1998 recibió el grado de Maestría en Ciencias especialidad Química Analítica, por la Facultad de Química de la UNAM; por su alto desempeño académico recibió la presea "Alfonso Caso" como la alumna más distinguida de la generación. En el periodo 1998-2002 realizó su programa doctoral, obteniendo en 2003 el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Química Analítica por la Facultad de Química de la UNAM. A lo largo de su carrera como investigadora se ha dedicado al desarrollo de métodos de separación para compuestos tóxicos. Actualmente es profesora de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), donde ocupa también el cargo de Secretaria de Investigación y Posgrado. La productividad de la Dra. Ballinas es abundante, ya que incluye, entre otras cosas, la presentación de 40 ponencias en congresos científicos nacionales e internacionales; ha publicado 10 artículos en revistas arbitradas e indexadas y cuatro capítulos de libros; además posee una patente industrial. El Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT le ha reconocido su trayectoria científica otorgándole el nombramiento de Investigador Nacional Nivel I.

GUADALUPE VIRGINIA NEVÁREZ MOORILLÓN. Cursó su licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), recibiendo en 1987 el título de Químico Biólogo Parasitólogo con la defensa de su tesis "Actividades biológicas de derivados del Ácido Araquidónico". Realizó estudios de doctorado en la University of North Texas conduciendo una investigación sobre el tema "Biodegradación de componentes de petróleo contaminantes en aguas y suelos por bacterias del suelo"; en agosto de 1995 se le otorgó el grado de Doctor en Ciencias, especialidad Biología. Ha recibido más de siete distinciones y premios, siendo el más reciente el Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Categoría Profesional; este premio le fue otorgado en 2006 por la Industria Mexicana de Coca-Cola y CONACYT, promotores del citado concurso. Por su destacada labor científica, ha sido reconocida como Investigador Nacional Nivel I por el Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT. Desde 1995 ha sido maestra de la Facultad de Ciencias Químicas (UACH) y su productividad científica incluye catorce artículos en revistas arbitradas; ha editado más de cuatro libros y dirigido más de 65 tesis (licenciatura y maestría). La Dra. Nevárez pertenece a diversas sociedades científicas, citándose entre algunas de ellas la American Society for Microbiology, la Society for Microbial Ecology y la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería.

Nueva ruta para la obtención de multiferroicos magnetoeléctricos monofásicos

A new route to obtain single-phase magnetoelectric multiferrics

MARÍA ELENA FUENTES-MONTERO^{1,*}, EDGAR A. MACÍAS-RÍOS², CÉSAR OCTAVIO CONTRERAS-VEGA¹, RAMÓN OLIVAS-VARGAS¹, LUZ MARÍA RODRÍGUEZ-VALDEZ¹, AMELIA VALDEZ-AGUIRRE¹, CARLOS ARMANDO DE LA VEGA-COBOS¹, HÉCTOR CAMACHO-MONTES³

Recibido: Febrero 12, 2007

Aceptado: Septiembre 17, 2007

Resumen

Se describe una nueva estrategia para la síntesis de multiferroicos monofásicos mediante el diseño asistido por computadora. Hoy en día existe un gran interés científico en el logro de tales compuestos, debido a sus potenciales aplicaciones dentro de la nanotecnología. Se aborda el tema de la dificultad de obtención de materiales magnetoeléctricos monofásicos a temperatura ambiente. Se enumeran los requisitos para que un material cumpla con esta propiedad desde el punto de vista químico, estructural y eléctrico. Se presentan algunos ejemplos de cerámicos multiferroicos y sus rasgos principales. Se propone la búsqueda de magnetoeléctricos multiferroicos dentro de la familia de las cerámicas de Aurivillius. Se plantea una estrategia novedosa, basada en la modelación teórica, para el logro de compuestos con características superiores dentro de dicha familia.

Palabras clave: DFT, Aurivillius, ferroeléctricos, materiales funcionales.

Abstract

The difficulties to obtain magnetoelectric multiferrics at room temperature are reviewed in this work. There is great interest in this particular property because of its potential application in nanotechnology. In this article the main chemical, structural and electrical characteristics these materials have to obey are enumerated. Examples of multiferic ceramics and principal qualities are discussed. The potential of the Aurivillius ceramics family as new magnetoelectric multiferrics are explained. A new strategy based on theoretical modelling for obtaining compounds within this family with superior performance is proposed.

Keywords: DFT, Aurivillius, ferroelectrics, functional materials.

¹ Profesores de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Ave. Universidad S/N. C.P. 00000. Chihuahua, Chih, México. Tel (614) 413-1187.

² Estudiante de posgrado del Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. Miguel de Cervantes # 120, Complejo Industrial Chihuahua. C.P. 31109. Chihuahua, Chih, México. Tel. (614) 439-1100 ext. 1159.

³ Profesor del Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Del Charro num. 450 norte. C.P. 32310. Cd. Juárez, Chih., México. Tel (656) 688-4887.

* Dirección electrónica del autor de correspondencia: mfuentes@uach.mx.

Introducción

La naciente ciencia de la nanotecnología tiene sus pilares en la investigación básica multidisciplinaria. Para lograr compuestos con propiedades novedosas, es necesario conjugar propiedades que no existen de forma natural. Éste es el caso de los materiales multiferroicos magnetoeléctricos. Recientemente ha habido un gran interés por desarrollar materiales multifuncionales, en los cuales una o más propiedades se combinan en un mismo compuesto. Los compuestos multiferroicos tienen simultáneamente ordenamiento ferromagnético, ferroeléctrico y/o ferroelástico. El acoplamiento entre las características ferroeléctrica y magnética en un mismo material puede dar lugar al efecto magnetoeléctrico, en el cual la dirección de la magnetización puede ser cambiada por un campo eléctrico aplicado y viceversa.

El efecto magnetoeléctrico se ha logrado con bastante éxito a partir de compósitos piezoeléctrico-magnetostrictivos (Zheng *et al.*, 2004), pero encontrar magnetoeléctricos monofásicos está resultando un reto difícil (Hill, 2000; Fuentes *et al.*, 2001). La boracita de níquel-yodo ($\text{Ni}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{I}$), unas pocas estructuras perovskitas (especialmente el BiFeO_3) y otras fases derivadas de éstas últimas (perovskitas dobles, fases de Aurivillius) representan los escasos multiferroicos conocidos (Fuentes *et al.* 2006a).

Una tendencia actual importante en la búsqueda de multiferroicos monofásicos se basa en la investigación teórica-computacional como precedente al trabajo experimental. El principal grupo promotor de esta estrategia a escala internacional es el de la Universidad de California en Santa Barbara (UCSB), liderado por la Dra. Nicola Spaldin (anteriormente Dra. Nicola Hill). Los aproximadamente 30 artículos que el grupo de Spaldin ha publicado sobre el tema durante los últimos 5 años ya acumulan cerca de 300 citas.

El objetivo de este ensayo es plantear un procedimiento para sintetizar nuevas cerámicas magnetoeléctricas. En el ámbito de la nanotecnología éste es un tema particu-

larmente fascinante y con aplicaciones muy prometedoras. Por ejemplo, se ha previsto la grabación-lectura de información mediante un sistema dual magnetoeléctrico, la creación de una nueva generación de detectores de campo magnético y mecanismos electrónicos de dirección de automóvil sin asistencia de la batería (Spaldin y Fiebig, 2005).

El orden que se sigue en el escrito es el siguiente: primero se enumeran las dificultades y contradicciones a nivel microscópico para conseguir un material multiferroico; luego se sugiere una estrategia de trabajo para descubrir materiales que satisfagan los requerimientos para el acoplamiento entre campos eléctrico y magnético, y por último se plantea una metodología científica novedosa basada en la combinación de diferentes aproximaciones dentro de la Teoría de Funcionales de Densidad (DFT, por sus siglas en inglés) para su descripción (Hohenberg y Kohn, 1964).

Desarrollo

¿A qué se deben las dificultades para encontrar magnetoeléctricas? ¿Cuáles son los requisitos que debe cumplir este tipo de material? En primer lugar, están los re-

quisitos de simetría. El material debe tener uno de los siguientes grupos puntuales: 1, 2, m, 222, 2mm, 4, -4, 422, 4mm, -42m, 3, 32, 3m, 6, 622, 6mm, 23, 432 (Fuentes, 1998). Por simetría, es imposible que un campo eléctrico invierta el momento magnético M en 180° (Schmid, 1999), sin embargo, la inversión de la polarización P por un campo eléctrico E sí puede provocar la rotación del eje de magnetización (Ascher, 1966). De igual manera, un campo magnético puede cambiar la dirección de P . (Kimura *et al.*, 2003). Desde el punto de vista de las propiedades eléctricas, el material debe poseer alta resistividad. En la práctica, es frecuente que esta condición se presente como un requerimiento difícil de satisfacer. Finalmente, algo importante: de alguna manera se debe esquivar cierta incompatibilidad existente entre los requisitos estándar de la ferroelectricidad y los del ferromagnetismo. Por ejemplo, la llamada d^0 -ness (orbitales d vacíos) del ión Ti^{4+} en el $BaTiO_3$ es clave para la transformación Jahn-Teller que genera la ferroelectricidad de este compuesto. Si en el centro de la perovskita (en el lugar del titanio) se coloca un catión con dipolo magnético, digamos Mn^{3+} , encontramos que su configuración d^4 —esencial para el magnetismo— entra en conflicto con el mecanismo que desplazaba al catión titanio. La condición multiferroica requiere soluciones no estándar. A continuación se mencionan algunos compuestos multiferroicos y, en los casos en que se conoce, su mecanismo microscópico de polarización-magnetización y sus temperaturas de transición ferro-paramagnético.

- *Boracita de níquel-yodo, $Ni_3B_7O_{13}I$* . Es un ferromagnético débil, con temperatura de transición al estado paramagnético $T_N = 60$ K, que manifiesta

ta ferroelectricidad hasta $T_C = 400$ K debido a la asimetría de sus octaedros O/I.

- *Perovskitas simples*
 - $YMnO_3$: Ferroelectricidad por factores estereoquímicos hasta $T_C = 900$ K; antiferromagnetismo hasta $T_N = 80$ K (Van Aken *et al.*, 2004).
 - $TbMnO_3$: Frustración de spin, $T_N = 40$ K, $T_C = 30$ K (Kimura *et al.*, 2003).
 - $BiMnO_3$ y $BiFeO_3$: Actividad estereoquímica del par electrónico $Bi6s^2$ (Seshadri y Hill, 2001; Santos *et al.*, 2002).
- *Perovskitas mezcladas, por ejemplo $Pb_2(CoW)O_6$* . Ferroeléctrico por desplazamiento de su catión W^{6+} , ferromagnético por los electrones d^6 del Co^{2+} .
- *Fases Aurivillius, por ejemplo $Bi_5Ti_3FeO_{15}$* . Ferroelectricidad en las capas de óxido de bismuto; octaedros perovskita antiferromagnéticos (Fuentes *et al.*, 2006a).

Todos estos compuestos tienen carácter ferroeléctrico debido a mecanismos no estándar. Uno de estos mecanismos se enfoca en cationes con pares electrónicos libres, los cuales tienen una configuración electrónica ns^2 . Los iones con esta configuración no tienen simetría de inversión, lo cual contribuye con las distorsiones estructurales. Esta actividad estereoquímica de los cationes con pares electrónicos libres, como el Bi^{3+} o el Pb^{2+} , es la responsable de las distorsiones estructurales de perovskitas tales como $BiMnO_3$ ó $BiFeO_3$. Con excepción del $BiFeO_3$, estas fases no exhiben propiedades magnéticas a temperatura ambiente. Una segunda limitación es que sus parámetros magnéticos y/o ferroeléctri-

cos son pobres. Desde el punto de vista químico, los metales de transición magnéticos son fáciles de oxidar/reducir, y esto añade dificultades prácticas al pretender combinar ferromagnetismo y ferro-electricidad en un mismo material (Baettig y Spaldin, 2005). El material más prometededor hasta ahora en la lista de las estructuras tipo perovskita es el BiFeO_3 ($T_c = 1103\text{K}$).

La Figura 1 caracteriza la estructura cristalográfica de esta fase (grupo espacial $R3c$). Se puede observar la rotación que sufren los octaedros de la celda tradicional. Si esta rotación se pudiera gobernar cambiando el campo eléctrico aplicado, existe la posibilidad de que se pueda rotar el spin del ión que se encuentra en el centro de los octaedros.

En este caso se lograría acoplar la magnetización y la polarización (Neaton *et al.*, 2005). Una familia de materiales que ofrece interesantes posibilidades de variantes estructurales es la de las *fases de Aurivillius* (Figura 2). Ellas cumplen con uno de los

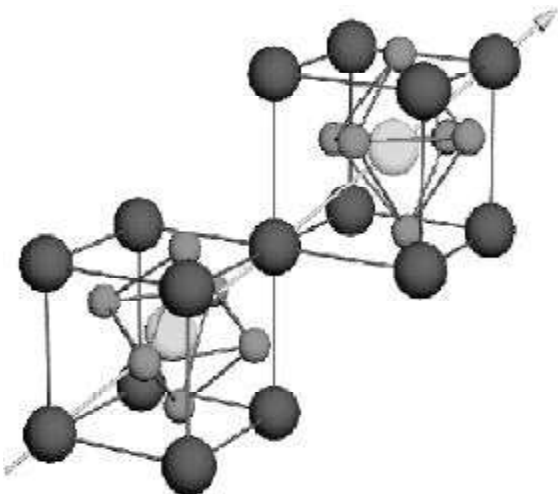


Figura 1. Estructura cristalina del BiFeO_3 . Los círculos pequeños representan átomos de oxígeno, los grandes oscuros se refieren a los de bismuto y los grandes claros al hierro.

mecanismos señalados como requerimientos para dar lugar a la magnetoelectricidad: la actividad estereoquímica de los cationes con pares electrónicos libres, como el Bi^{3+} . Este tipo de materiales, denominados así en honor a su descubridor (Aurivillius, 1949), presentan una estructura laminar cuya fórmula es $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}(\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1})^{2-}$. A y B representan los cationes que se encuentran en las posiciones cubo-octaédrica y octaédrica respectivamente de las estructuras pseudo-perovskita $(\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1})^{2-}$, y n representa el número de éstas que se encuentran entre las capas de óxido de bismuto $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$. Se ha logrado sintetizar y caracterizar fases de Aurivillius con diferentes composiciones y características (Castro *et al.*, 2000; Fuentes *et al.*, 2002, 2004, 2006; García-Guaderrama, 2004, 2005), entre ellas las $\text{Bi}_{n+1}\text{Ti}_3\text{Fe}_{n-3}\text{O}_{3n+3}$ ($n = 3, 4, 5, 6$ y 7). Los resultados experimentales en este material han mostrado valores del coeficiente magnetoeléctrico cercanos a $10 \text{ mV cm}^{-1} \text{ Oe}^{-1}$.

La necesidad de multiferroicos monofásicos es un requerimiento de la nanotecnología. Hasta la fecha sólo se conoce un material monofásico, el BiFeO_3 , que exhibe carácter multiferroico débilmente magnetoeléctrico a temperatura ambiente. En este documento se propone un método para sintetizar cerámicas de Aurivillius con estas características, con base en el diseño teórico-computacional.

De esta manera se realizaría por primera vez la investigación de este tipo de compuestos mediante métodos basados en DFT. También son originales el análisis estructural y de propiedades a escala nanométrica, así como la vinculación que se establecería entre las fases de obtención, modelación y caracterización de propieda-

des. Un plan tentativo es el que se propone a continuación:

1. Modelar con base en cálculos de DFT fases perovskitas y Aurivillius como sustancias que probablemente exhiban carácter multiferroico.
2. Sintetizar perovskitas y Aurivillius multiferroicos en forma de muestras masivas y como láminas delgadas.
3. Caracterizar química y estructuralmente los materiales obtenidos, utilizando técnicas convencionales de microscopía y de difracción, así como métodos de radiación sincrotrónica (Fuentes y Reyes, 2002).
4. Caracterizar las propiedades magnetoeléctricas de los materiales de interés.
5. Generar conocimientos nuevos sobre el origen, a nivel nanométrico, de las propiedades magnetoeléctricas de los materiales.

Recientemente se ha logrado caracterizar a los materiales multiferroicos monofásicos a nivel atómico. En el último año, se ha pasado de explicar los mecanismos para la existencia de magnetoelectricidad a diseñar y proponer nuevas fases, con base en cálculos teóricos. En esta dirección se tienen prácticamente agotadas las estruc-

turas tipo perovskita y se están considerando nuevas familias de materiales. Entre ellas se considera, con amplias posibilidades, a las fases de Aurivillius, donde las capas de BiO_2 pueden ser ferroeléctricas y las capas perovskita ferromagnéticas. La Figura 2 representa la estructura cristalina de un material con estas características esperadas. Así, se pueden tener ambos roles en un material monofásico e incluso en un material nanocristalino.

En ese contexto se inserta el procedimiento anterior, en el que se diseñan, sintetizan y prueban nuevos materiales multiferroicos. Este estudio se divide en 3 aspectos fundamentales: la síntesis de la cerámica, la caracterización estructural y la modelación de sus propiedades por DFT.

Como paso inicial se prevé la caracterización mediante espectroscopía de estructura fina de la absorción de rayos X extendida (EXAFS) (Newville, 2004) y mediante difracción de rayos X (XRD) de alta resolución (Young, 1993) de las cerámicas $\text{Bi}_{n+1}\text{Ti}_3\text{Fe}_{n-3}\text{O}_{3n+3}$ ($n=3, 4, 5, 6$ y 7), obtenidas en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Esto permite comprender la posición exacta de los iones de Bi, Fe y Ti y sus enlaces. Así se tendrá, usando diversos programas que se basan

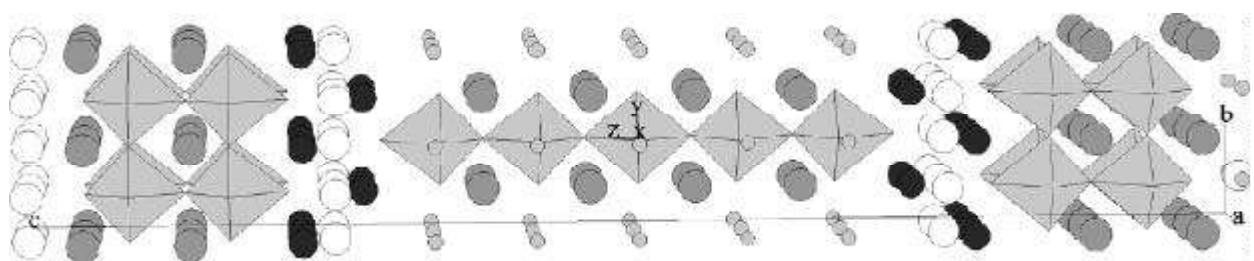


Figura 2. Estructura cristalina de una cerámica de Aurivillius de 5 capas. Esferas: blancas $\rightarrow \text{O}_2$, grises grandes $\rightarrow \text{Bi}$, grises pequeñas y centros de los octaedros $\rightarrow \text{Ti/Fe}$. Los átomos de O, que se encuentran en los extremos de los octaedros, se omiten.

en DFT, la información estructural necesaria para dilucidar el por qué de su pobre comportamiento magnetoeléctrico. Se pueden modelar las siguientes propiedades: densidad de carga, energías, estructura cristalina, estructura de bandas, ordenamiento magnético, frecuencias fonónicas, polarización ferroeléctrica, respuesta dieléctrica, coeficiente piezoeléctrico, etc. (Baroni *et al.*, 2001).

Dentro de este tipo de investigación teórica se debe comenzar por la optimización de la geometría y el cálculo de la energía total, la densidad de carga y la estructura de bandas (Spaldin y Pickett, 2003). Usando pseudopotenciales dentro de la aproximación LSDA y una base de ondas planas, se hace un estudio comparativo de las estructuras relajadas y no relajadas. La polarización ferroeléctrica debe calcularse por el método de la "fase de Berry" (Berry, 1984)(Hamann, 2005). Los estados excitados, la estructura fonónica y otras propiedades de interés se calculan dentro del marco de la Teoría de los Funcionales de la Densidad Dependiente del Tiempo y la Teoría Perturbativa del Funcional de Densidad. Este formalismo está recogido en varios capítulos del libro de Richard Martin (Martin, 2004). Es conocido que la aproximación LDA no permite modelar correctamente el gap existente en las bandas de energía de los materiales ferroeléctricos (Spaldin, 2003); por eso, el siguiente paso es realizar los cálculos dentro de algunas de las siguientes aproximaciones: LMTO (Olivera, 2005), LDA+U, GW (Gonze *et al.*, 2005), pseudo-SIC y FP-LAPW, (Payne *et al.*, 1992; Fuchs *et al.*, 1999). Las propiedades magnéticas merecen un tratamiento especial según el tipo de material: ferromagnético, ferrimagnético o antiferromag-

nético. No es sencillo el tratamiento en ninguno de los casos, pero hay algunas sugerencias en el artículo de Filippetti y Spaldin (2003). Entre los programas de computo que se pudieran encontrar se encuentran: Abinit, Wien2k, Castep y VASP.


Mediante los experimentos de EXAFS y XRD de alta resolución, que se pueden realizar en sincrotrones, también se puede obtener la respuesta para resolver un debate que existe en la literatura: ¿Pueden ser sustituidos los iones de bismuto de la capa $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$ por otros cationes (Fuentes *et al.*, 2002)? Este punto tiene relevancia a la hora de lograr que, dentro de la celda unitaria, las capas perovskita tengan orden magnético y las de óxido de bismuto polarización eléctrica (Fuentes *et al.* 2006b).

Las mediciones experimentales del efecto magnetoeléctrico se realizan utilizando un sistema dinámico desarrollado en CIMAV, en donde mediante un campo magnético alterno se produce la respuesta eléctrica (García-Guaderrama, 2005). Este experimento, junto con la medición de los lazos de histéresis, debe confirmar o no el logro de las propiedades que se pretende determinar. Además, la observación de los dominios ferroeléctricos y magnéticos es uno de los aspectos más atractivos que se puede conseguir. Ellos se analizan por medio del Microscopio de Fuerza Atómica.

Conclusiones

En este ensayo se propone una nueva estrategia para obtener un material con una propiedad novedosa a escala nanométrica: la magnetoeléctricidad. Este es un tema novedoso y de gran interés para el desarrollo de la nanotecnología, ya que a la fecha no se han descubierto materiales magnetoeléctricos monofásicos.

Dentro de esta proposición se tiene el objetivo de investigar, desde el punto de vista de la magnetoelectricidad, teórica y experimentalmente, perovskitas y cerámicas de Aurivillius, basados en la modelación computacional, paralela a la obtención en el laboratorio. Las fases Aurivillius presentan una estructura laminar, descrita anteriormente, que cumple las características señaladas como requisitos para dar lugar a la magnetoelectricidad: cationes con pares electrónicos libres y una configuración favorable para que las capas de óxido de bismuto sean ferropiezoelectricas y las capas perovskitas exhiban algún tipo de orden magnético.

Después de sintetizar estos compuestos se realiza la investigación estructural, principalmente mediante técnicas de radiación sincrotrónica de alta resolución, y la medición de las propiedades eléctricas y magnéticas. El diseño de los nuevos materiales y la descripción a escala nanométrica de los diferentes compuestos constituyen uno de los retos más ambiciosos, lo cual se pretende realizar con el uso de programas de cómputo basados en DFT. 

Literatura citada

ABINIT: Revisado 2007. Es un proyecto en común de Université Catholique de Louvain, Corning Incorporated, y otros autores contribuyentes (URL: <http://www.abinit.org>).

ASCHER, E., H. Rieder, H. Schmid, & H. Stössel, 1966. Some properties of ferromagnetolectric nickel-iodine borate, $\text{Ni}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{I}$. *Journal of Applied Physics* 37: 1404-1405.

AURIVILLIUS, B. 1949. Mixed Bismuth Oxides with Layer Lattices III. *Arkiv for Kemi* 2(37): 519-527.

BAETTIG, P. y N.A. Spaldin. 2005. Ab initio prediction of a multiferroic with large polarization and magnetization. *Applied Physics Letter* 86, 012505: 1-3.

BARONI, S., G. Stefano y A. Dal Corso. 2001. Phonons and related crystal properties from density-functional perturbation theory. *Reviews of modern Physics*, 73: 515-562.

BERRY M.V. y R. Proc. 1984. In: Fundamental aspects of quantum theory. Royal Society of London A 392, p.45-57.

CASTEP: Revisado 2007. Es comercializado por Accelrys Software Inc. como parte del paquete de Materials Studio®. (URL: <http://www.accelrys.com/products/mstudio/>).

CASTRO, J., T. de los Ríos y L. Fuentes, 2000. Synthesis and Characterization of Nb-doped PZT Piezo-Ferroelectric Ceramics. *Materials and Manufacturing Processes* 15, (2): 301-310.

FILIPPETTI, A. y N.A. Spaldin, 2003. Self-interaction corrected pseudopotential scheme for magnetic and strongly correlated systems. *Physical Review B* 67, 125109: 1-15.

FUCHS, M. y M. Scheffler. 1999. Ab initio pseudo-potentials for electronic structure calculations of poly-atomic systems using density-functional theory. *Computational Physics Communications*. 119: 67-98.

FUENTES, L. 1998. Magnetic-coupling properties in polycrystals. *Textures and Microstructures* 30: 167-189.

FUENTES, M. E., H. Camacho y L. Fuentes. 2001. Propiedades de acoplamiento eléctrico y magnético: cristales y policristales. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 40 (4): 267-274.

FUENTES, L. y M. Reyes 2002. Mineralogía Analítica. *Colección Textos Universitarios*, Universidad Autónoma de Chihuahua.

FUENTES, M.E., A. Mehta, L. Lascano, H. Camacho, R. Chianelli, J.F. Fernández y L. Fuentes. 2002. The Crystal Structure of $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. *Ferroelectrics* 269: 159-164.

FUENTES, L., M. García, J. Matutes-Aquino y D. Ríos-Jara, 2004. Magnetoelectricity Via Crystallography. *Journal of Alloys and Compounds* 369: 10-13.

FUENTES, L., M. García, D. Bueno, M.E. Fuentes y A. Muñoz. 2006a. Magnetoelectric effect in $\text{Bi}_5\text{Ti}_3\text{FeO}_{15}$ ceramics obtained by molten salts synthesis. *Ferroelectrics* 336: 81-89.

FUENTES, L., J.F. Fernández, M.E. Fuentes, L. Lascano, M.E. Montero y R. Olivera. 2006b. Synchrotron Radiation Study Of Structural Tendencies In Aurivillius Ceramics. *Ferroelectrics* 339: 209-218.

GARCÍA-GUADERRAMA, M., M.E. Botello-Zubiate, A. Marquez-Lucero, J.A. Matutes-Aquino y L. Fuentes-Cobas. 2004. Síntesis por rutas químicas y estructura cristalina de la fase Aurivillius $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. *Revista Mexicana de Física* 50 (1): 42-45.

GARCÍA-GUADERRAMA, M. 2005. Síntesis por fusión de sales y caracterización de fases Aurivillius de la familia $\text{Bi}_{n+1}\text{Ti}_3\text{Fe}_{n-3}\text{O}_{3n+3}$. CIMAV. *Tesis de doctorado*.

GARCÍA-GUADERRAMA, M., L. Fuentes, M.E. Montero-Cabrera, A. Márquez-Lucero y M.E. Villafuerte-Castrejón, 2005. Molten salt synthesis and crystal structure of $\text{Bi}_5\text{Ti}_3\text{FeO}_{15}$. *Integrated Ferroelectrics* 71: 233-239.

GONZE, X., G.-M. Rignanese, M. Verstraete, J.-M. Beuken, Y. Pouillon, R. Caracas, F. Jollet, M. Torrent, Zerah G., M. Mikami, Ph. Ghosez, M. Veithen, J.Y. Raty, V. Olevano, F. Bruneval, L. Reining, R. Godoy, G. Onida, D.R. Hamann, y D.C. Allan. 2005. A brief introduction to the ABINIT software package. *Zeit Kristallographen* 220: 558-562.

HAMANN, D.R., X. Wu, K.M. Rabe y D. Vanderbilt. 2005. Metric tensor formulation of strain in density-functional perturbation theory. *Physical Review B* 71, 035117:1-13.

HILL, N. A. 2000. Why Are There So Few Magnetic Ferroelectrics? *Journal of Physical Chemistry B* 104: 6694-6709.

HOHENBERG, P. y W. Kohn. 1964. Inhomogeneous electron gas. *Physical Review* 136: 864-871.

KIMURA, T., H. Goto, K. Shintani, T. Ishizaka, Y. Arima, y Y. Tokura. 2003. Magnetic control of ferroelectric polarization. *Nature* 426: 55-58.

MARTIN, M.R. 2004. Electronic Structure: Basic Theory and Practical Methods. Cambridge Press.

- NEATON, J.B., U.V. Waghmare, C. Ederer, N.A. Spaldin y K.M. Rabe. 2005. First-principles study of spontaneous polarization in multiferroic BiFeO_3 . *Physical Review B*. 71,014113:1-8.
- NEWVILLE, M. 2004. Fundamentals of EXAFS. University of Chicago.
- OLIVERA, R. 2005. Análisis de la Ferroelectricidad en BaTiO_3 y PbTiO_3 por medio de su estructura electrónica, *Tesis de Maestría*, CIMAV.
- SANTOS, M. A., S. Parashar, A.R. Raju, Y.S. Zhao, A.K. Cheetham y C.N.R. Rao. 2002. Evidence for the likely occurrence of magnetoferroelectricity in BiMnO_3 . *Solid State Communications* 122: 49-52.
- SESHADRI, R. y N.A. Hill. 2001. Visualizing the role of Bi 6s "lone pairs" in the off-center distortion in ferromagnetic BiMnO_3 . *Chemical Mater* 13: 2892-2899.
- SCHMID, H. 1999. On the possibility of ferromagnetic, antiferromagnetic, ferroelectric and ferroelastic domain reorientations in magnetic and electric fields. *Ferroelectrics* 221: 9-17.
- SHINDE, S., B. Ogale, F. Bai, D. Viehland, Y. Jia, D. G. Schlom, M. Wuttig, A. Roytburd y R. Ramesh. 2004. Multiferroic $\text{BaTiO}_3\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ Nanostructures. *Science* 303 (5658): 661-663.
- SPALDIN, N. A. y M. Fiebig. 2005. The renaissance of magnetoelectric multiferroics. *Science*, 309 (5733): 391-392.
- SPALDIN, N. A. y W.E. Pickett. 2003. Computational Design of Multifunctional Materials. *Solid State Chemistry*. 176 (2): 615-632.
- VAN AKEN, B. B., T.T.M. Palstra, A. Filippetti y N.A. Spaldin. 2004. The origin of ferroelectricity in magnetolectric YMnO_3 . *Nature Materials* 3: 164-170.
- VASP: Revisado 2007. Es un proyecto de los profesores Dr. Jürgen Hafner y Dr. Georg Kresse de Institut für Materialphysik, Technische Universität Wien. Viena, Austria (URL:<http://cms.mpi.univie.ac.at/vasp/>).
- WIEN2K: Revisado 2007. Es un proyecto del Grupo de Química Cuántica Computacional del Institut für Materialchemie, Technische Universität Wien. Viena, Austria (URL:<http://www.wien2k.at>).
- YOUNG, R. A. 1993. The Rietveld Method. IUCr Monographs on Crystallography 5, Oxford University Press.
- ZHENG, H., J. Wang, S. E. Lofland, Z. Ma, L. Mohaddes-Ardabili, T. Zhao, L. Salamanca-Riba, S. R. Shinde, S. B. Ogale, F. Bai, D. Viehland, Y. Jia, D. G. Schlom, M. Wuttig, A. Roytburd y R. Ramesh. 2004. Multiferroic $\text{BaTiO}_3\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ Nanostructures. *Science* 303 (5658): 661-663.

Este artículo es citado así:

FUENTES-MONTERO, M. E. E. A. Macías-Ríos, C. O. Contreras-Vega, R. Olivas-Vargas, L. M. Rodríguez Valdéz, A. Valdéz Aguirre, C. A. De La Vega-Cobos y H. Camacho Montes. 2007. Nuevas rutas para la obtención de multiferroicos magnetoeléctricos monofásicos. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 1(2): 27-35.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

MARÍA ELENA FUENTES MONTERO. Cursó la Licenciatura en Física en la Facultad de Física de la Universidad de La Habana (1990-1995), así como la Maestría en Ciencias (1995-1997). Realizó los estudios de Doctorado en Ciencia, con especialidad en Materiales, en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) de la Ciudad de Chihuahua (1999-2002). El tema de su disertación fue sobre la Difracción de Rayos X y materiales ferroeléctricos. Actualmente trabaja en las áreas de modelación de moléculas y cristales.

EDGAR MACÍAS RÍOS. Realizó la carrera de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Chihuahua II (1996-2001). Actualmente está cursando la Maestría en Ciencia de Materiales en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV).

CÉSAR OCTAVIO CONTRERAS VEGA. Durante el periodo 1974-1978 realizó su licenciatura y obtuvo el título de Ingeniero Químico Bromatólogo por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. En el año 2002 obtuvo el grado de Maestro en Ecuación por el Centro de Investigación y Docencia de la Secretaría de Educación y Cultura del Estado de Chihuahua. Sus áreas de especialidad son la teoría educativa y los modelos pedagógicos.

RAMÓN OLIVAS VARGAS. Realizó la carrera de Ingeniero Industrial, opción Química, en el Instituto Tecnológico de Chihuahua. Le fue otorgado el grado de Maestro en Ciencias en Bioingeniería, en el área de Alimentos, por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN). Llevó a cabo sus estudios de Doctorado en Ciencia de Materiales en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Actualmente se dedica al estudio de interacciones moleculares en alimentos y procesos de interés en Ingeniería en Alimentos.

LUZ MARÍA RODRÍGUEZ VALDEZ. Cursó la carrera de Ingeniería Industrial Química en el Instituto Tecnológico de Parral (ITP), con sede en la ciudad de Hidalgo del Parral, Chihuahua, concluyendo sus estudios en 1993. En enero de 2002 le fue otorgado el grado de Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), con sede en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua. Posee el Doctorado en Ciencias, cuyo grado le fue otorgado en octubre de 2005 también por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Su área de especialización es la química computacional y el diseño y análisis teórico de materiales.

AMELIA VALDEZ AGUIRRE. Durante el periodo 1976-1980 cursó la carrera de Químico Bacteriólogo Parasitólogo en la Facultad de Ciencias Químicas (Universidad Autónoma de Chihuahua), de donde recibió su título profesional; además, en 1990 le fue otorgado el grado de Maestría en Inmunología por esta misma Facultad. Posee el grado de Doctor en Ciencias en Microbiología que le otorgó en 1999 la Facultad de Ciencia Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Su especialidad es la modelación de reacciones biológicas en el área de salud.

CARLOS ARMANDO DE LA VEGA COBOS. En febrero de 1991 obtuvo el título de Ingeniero Químico opción Alimentos, por la Facultad de Ciencias Químicas de la UACH. Posee el grado de Maestro en Ciencias de la Educación Ambiental, por la Universidad de Guadalajara, que se le otorgó en mayo del 2006. Actualmente cursa la Maestría en Ciencias de los Materiales en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. (CIMAV).

HÉCTOR CAMACHO MONTES. Ostenta el título de Licenciado en Física, que le fue otorgado en 1994 por la Facultad de Física de la Universidad de La Habana. Realizó estudios de posgrado en esta misma universidad, otorgándosele en 1998 el grado de Maestro en Ciencias Físicas. En el año 2003 obtuvo el Doctorado en Ciencia de Materiales, grado que le fue otorgado por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Sus áreas de especialización son las propiedades efectivas de materiales compuestos (relación estructura-propiedades), sinterizado de cerámicos, modelación y simulación.

Manejo de plagas en el cultivo de chile y su impacto ambiental en la zona agrícola de Jiménez-Villa López, Chihuahua, México

Pest management in the pepper crop and their environmental impact in the Jiménez-Villa López, Chihuahua, México agricultural zone

CÉSAR GUIGÓN-LÓPEZ^{1,*}, PABLO ANDRÉS GONZÁLEZ-GONZÁLEZ¹

Recibido: Marzo 12, 2007

Aceptado: Agosto 20, 2007

Resumen

La alta incidencia de plagas en el cultivo de chile ha causado un alarmante aumento en el uso de productos químicos para su control. Con el objetivo de identificar los plaguicidas y programas de control de plagas utilizados en la zona y calcular el impacto que ejercen sobre el medio ambiente y los riesgos contra la salud humana, se aplicaron encuestas a productores de chile de la zona Jiménez-Villa López en los ciclos agrícolas 2001 y 2002. Se determinó el cociente de impacto ambiental (CIA) para cada plaguicida y se calculó el impacto ambiental en campo (IAC). Se identificaron 16 diferentes programas de control de plagas y 48 productos plaguicidas, de los cuales 26 fueron insecticidas/acaricidas, 20 fungicidas/bactericidas y 2 herbicidas. El impacto ambiental generado por fungicidas/bactericidas es mayor al generado por insecticidas/acaricidas. De los insecticidas/acaricidas, endosulfan (82.3% de la superficie cultivada) y clorpirifos (49%) son los más empleados en la producción de chile. En el caso de los fungicidas, oxiclورو de cobre (66.3% de la superficie) y mancozeb (64.6%) son los que más se emplean. El 37.5% de los programas de manejo ejerce una fuerte presión ambiental (IAC > 550); el 25% un IAC entre 300 y 500, y el 37.5% un IAC < 290. El manejo que se realiza de algunos productos como endosulfan (IAC= 43 a 85), clorpirifos (IAC=27 a 40), oxiclورو de cobre (IAC=16 a 117) y mancozeb (IAC= 37 a 299) está generando serios incrementos en los índices de impacto ambiental.

Palabras clave: *Capsicum annum*, Control químico, Manejo Integrado de Plagas, Toxicología.

Abstract

Pepper crops have a high pest incidence which requires increased use of chemical products for control. To identify pesticides and pest management programs used in pepper crop and to evaluate the pesticides environmental impact on health risk, questionnaires were supplied to producers in the Jiménez-Villa López agricultural zone during the 2001 and 2002 agricultural cycles. Pesticides environmental impact quotient (EIQ) and field environmental impact were calculated. 48 products were identified, 26 insecticides/acaricides, 20 fungicides/bactericides and 2 herbicides. Endosulfan and chlorpyrifos were the insecticides most widely used in the production of pepper (82.3% and 49% of the cultivated area, respectively). Copper oxichlorure and mancozeb were the most used fungicides (66.3% and 64.6% of the cultivated area, respectively). 37.5% of pest management programs exert a strong environmental pressure (EIQ > 500), 25% an EIQ between 300 and 500, and 37.5% an EIQ < 290. Pepper crop management using some products such as endosulfan (EIQ=43 to 85), chlorpyrifos (EIQ=27 to 40), copper oxichlorure (EIQ=16 to 117) and mancozeb (EIQ=37 to 299) may seriously impact the environment of the region.

Keywords: *Capsicum annum*, chemical control, integrated pest management, toxicology.

Introducción

En el estado de Chihuahua se cultivaron en los últimos años de 18 a 20 mil hectáreas de chile (*Capsicum annuum L.*), hortaliza que anualmente aporta a la economía estatal alrededor de 928 millones de pesos (Secretaría de Desarrollo Rural, 2002; Lujan y Chávez, 2003). La alta incidencia de plagas afecta el desarrollo y rendimientos del cultivo causando serias pérdidas económicas, lo que ocasiona que el empleo de plaguicidas químicos sea la medida de control más utilizada y que dentro de las prioridades a resolver en este cultivo se considere el control de plagas y el impacto ambiental del mismo (SIVILLA, 2001). De aquí se deriva la necesidad de contar con herramientas que describan los riesgos que el uso de plaguicidas provoca.

Los plaguicidas son productos que han permitido mejorar la productividad agrícola, sin embargo su toxicidad inherente y el uso inadecuado han ocasionado que ejerzan diversos efectos adversos a la salud humana y a la vida silvestre (Segura, 1998; Castro *et al.*, 2000; Bravo, 2002) y contaminación de los acuíferos superficiales, de los alimentos y del suelo (Granados y Pérez, 1995). Las investigaciones realizadas para medir el impacto de plaguicidas sobre los ecosistemas han demostrado que estos productos influyen en la diversidad de especies, en la cadena alimenticia, flujo de energía, ciclos de nutrientes, genética de los organismos y en general en la estabilidad del sistema (Granados y Pérez, 1995). Estas investigaciones, sin embargo, se han dirigido a determinar el grado de contaminación del agua, aire y tierra, sin reconocer plenamente la interacción de estos factores como un todo. Los estudios de impacto ambiental son análisis más completos, pues estiman las consecuencias que tienen las decisiones de manejo sobre uno o más de los indicadores ambientales

(Ramírez y Jacobo, 2002). Estos estudios son un respaldo básico en los procesos de producción agrícola, sobre todo cuando se trata de incorporar procesos sustentables dentro de la producción agrícola.

El comportamiento de los plaguicidas en el ambiente es muy variado y depende del tipo de compuesto, de su vida media, de su solubilidad en el agua y de las condiciones del medio en que se encuentra y la persistencia del producto en el ambiente y su toxicidad (Mergalef, 1991; Granados y Pérez, 1995; Moroz, 1999). Por estas razones, los estudios de impacto ambiental se realizan sobre la base del comportamiento del plaguicida en cuanto a: 1) toxicidad aguda para el ser humano y animales domésticos, 2) toxicidad general para organismos indicadores de contaminación ambiental, y 3) persistencia en el ambiente (Metcalf, 1994). Una herramienta útil para medir el impacto ambiental por plaguicidas son los indicadores de riesgo, los cuales evalúan uno o varios parámetros que proveen información acerca de los efectos o impactos al ambiente; hacen uso de la

¹ Investigadores del Centro de Investigación para los Recursos Naturales, CIReNa, Antigua Normal Rural, Saltales, Chihuahua, México, C.P. 33941, teléfonos: (629) 534-6023 y 534-6048.

* Dirección electrónica del autor de correspondencia: guigonlc@yahoo.com.mx.

información disponible sintetizándola para facilitar su comprensión. Kovach *et al.* (1992) desarrollaron un programa integral de manejo de plaguicidas, el cual involucra un método que genera un cociente de impacto ambiental como indicador que suma los riesgos que representa un plaguicida para trabajadores agrícolas, consumidores y biota no humana, lo cual facilita la identificación de altos riesgos, permite evaluar el empleo regional de plaguicidas y ayuda en la selección de aquellos que representan mejor alternativa. Utilizando esta metodología, Barros (2001) en Talca, Chile, y Ramírez y Jacobo (2002) en Chihuahua, México, lograron comparar el impacto ambiental de diferentes programas de manejo fitosanitario en manzano. Del mismo modo Bues *et al.* (2003) emplearon este indicador para evaluar el impacto ambiental por plaguicidas en tomate en cinco países mediterráneos.

El presente estudio se realizó con el objetivo de identificar los plaguicidas y programas para el manejo de plagas en el cultivo de chile empleados en la zona de Jiménez-Villa López y calcular el impacto que ejercen sobre el medio ambiente y los riesgos contra la salud humana.

Materiales y métodos

A finales de los ciclos agrícolas 2001 y 2002 se aplicó una encuesta a productores de chile de los municipios de López y Jiménez, Chihuahua. Para el estudio fueron seleccionados lotes representativos de los sistemas de producción de chile en la zona.

Se eligió un tamaño de muestra de 300 hectáreas, mismo que se definió de acuerdo a lo sugerido por ODEPA (1999); la muestra representa el 15% de la superficie cultivada. De acuerdo con la metodolo-

gía utilizada, se consideró un error de muestreo del 10%, con un nivel de confianza del 95%.

En total se estudiaron 16 lotes comerciales, de los cuales 14 se cultivaron con chile jalapeño y dos con cascabel y con piteado. Las encuestas incluían aspectos relacionados con los productos comerciales que se emplean para el control de plagas, nombre del plaguicida, presentación (% de ingrediente activo), dosis y número de aplicaciones realizadas, además de la superficie cultivada expuesta a la acción de los ingredientes activos utilizados (Garthwaite y Thomas, 1998; Kovach *et al.*, 1992). La información recabada fue organizada considerando las veces en que un determinado plaguicida fue empleado en los diferentes programas de manejo y la superficie cultivada que fue tratada con él (Garthwaite y Thomas, 1998). Posteriormente, los datos se procesaron aplicando la metodología recomendada por Kovach *et al.* (1992). Esta metodología considera la definición de tres componentes principales del riesgo por el uso de plaguicidas. El primer componente se relaciona con el riesgo hacia los trabajadores agrícolas y es definido por la exposición del aplicador más la exposición del recolector, lo cual es afectado tantas veces el efecto sobre la salud a causa de la toxicidad crónica del producto. El primer componente se define por la ecuación $C = (DT*5) + (DT*P)$. El segundo componente (componente del consumidor) es la suma de la exposición potencial del consumidor más el efecto del potencial de lixiviación. Este último efecto es colocado en el segundo componente debido a que es de mayor riesgo contra la salud humana por la contaminación de agua para consumo humano. Estos efec-

tos son multiplicados por la toxicidad crónica del producto: $(C*((S+P)/2)+SY)+(L)$. El tercer componente (componente ecológico) es compuesto por los efectos acuáticos y terrestres y considera el efecto sobre peces, aves, abejas y artrópodos benéficos: $(F*R)+(D*((S+P)/2)*3+(Z*P*3)+(B*P*5)$. Estos tres componentes se integran en una sola ecuación para llevar a cabo el cálculo del cociente de impacto ambiental (CIA) para cada plaguicida, de la siguiente forma:

$$CIA = \{ [C(DT*5)+(DT*P)] + [(C*((S+P)/2)+SY)+(L)*(F*R)] + [(D*((S+P)/2)*3+(Z*P*3)+(B*P*5)] \} / 3$$

Donde: C = toxicidad crónica, DT = toxicidad dermal, P = vida media en la superficie de la planta, S = vida media en el suelo, SY = sistemicidad, L = potencial de lixiviación, F = toxicidad en peces, R = pérdida potencial en la superficie, D = toxicidad en aves, Z = toxicidad en abejas, y B = toxicidad en artrópodos benéficos.

Una vez que los datos fueron procesados, los plaguicidas fueron agrupados por clases, insecticidas/acaricidas, fungicidas/bactericidas y herbicidas. Los datos toxicológicos y demás información técnica de un ingrediente activo determinado se obtuvieron de la base de datos de la EPA y otras fuentes, de tal forma que datos perdidos no afectaran la clasificación de un plaguicida (Kovach *et al.*, 1992).

Ya establecido el CIA para cada plaguicida, se procedió a calcular el impacto de su uso en campo, considerando la dosis, el porcentaje de ingrediente activo y el número de aplicaciones, mediante la siguiente ecuación:

$$IAC = CIA * ia * d * a$$

Donde: IAC = impacto ambiental en campo, CIA = cociente de impacto ambiental, ia = ingrediente activo (%), d = dosis, y a = número de aplicaciones.

Con los datos obtenidos se procedió a comparar numéricamente el impacto ambiental entre plaguicidas y entre los diferentes programas de manejo identificados.

Resultados y discusión

La información obtenida se analizó considerando los plaguicidas empleados, los programas de manejo de los productores y los riesgos ambientales y contra la salud derivados del impacto estimado.

Se identificaron 16 programas de control de plagas, en el 100% de ellos se emplearon insecticidas y fungicidas, productos antibióticos contra bacterias en un 68.7% y herbicidas en el 12%. En total se detectaron 48 productos plaguicidas, de los cuales 26 fueron insecticidas/acaricidas, 20 fungicidas/bactericidas y 2 herbicidas (Cuadro 1).

Entre los insecticidas/acaricidas, endosulfan (organoclorado) es empleado en el 75% de los programas de control y se aplicó al 82.3% de la superficie cultivada. Clorpirifos (organofosforado) se aplica en el 49% de la superficie por el 62.5% de los programas. Paratión Metílico (organofosforado), Carbaril (carbámico) y Malatión (organofosforado) se aplican por el 43.7% de los productores, en el 52, 44.6 y 31.3% de la superficie, respectivamente. Oxamyl (carbámico) fue empleado en el 37.5% de los programas, en el 36% de la superficie. Esta información es importante, ya que Endosulfan, Clorpirifos y Paratión metílico se encuentran dentro de la lista de plaguicidas responsables de la mayor morbilidad por intoxicaciones agudas en América La-

Cuadro 1. Plaguicidas empleados en los programas de control de plagas en el cultivo de chile en la Zona de Jiménez – Villa López, Chih. 2001-2002.

Producto	Programas de control que lo emplean	% del total de programas	Superficie tratada con el plaguicida (Ha)	% de la superficie total
<i>Insecticidas/Acaricidas</i>				
Endosulfan	12	75	247	82.3
Clorpirifos	10	62.5	147	49
Carbaril	7	43.7	134	44.6
Malatión	7	43.7	94	31.3
Paratión Metílico	7	43.7	156	52
Oxamyl	6	37.5	108	36
Metamidofos	5	31.2	103	34.3
Cipermetrina	4	25	63	21
Dimetoato	3	18.7	80	26.6
Carbofuran	2	12.5	20	6.6
Permetrina	2	12.5	13	4.3
Abamectina	2	12.5	20	6.6
Azinfos Metil	2	12.5	35	11.6
Trichograma	2	12.5	88	29.3
Crisopa	2	12.5	88	29.3
Fipronil	1	6.2	18	6
Metomilo	1	6.2	5	1.6
Cyromazina	1	6.2	5	1.6
Imidacloprid	1	6.2	50	16.6
Diazinon	1	6.2	50	16.6
Cyflutrin	1	6.2	50	16.6
Acetamiprid	1	6.2	45	15
Deltametrina	1	6.2	25	8.3
Alomonas	1	6.2	18	6
Azadiractina	1	6.2	18	6
Beauveria bassiana	1	6.2	18	6
<i>Fungicidas/Bactericidas</i>				
Oxicloruro de Cobre	11	68.7	199	66.3
Mancozeb	10	62.5	194	64.6
Estreptomina	8	50	156	52
Oxitetraciclina	8	50	149	49.6
Sulfato de Cobre	5	31.2	146	48.6
Gentamicina	4	25	111	37
Propiconazol	4	25	33	11
Azufre	3	18.7	120	40
Kresoxim-Metil	3	18.7	73	24.3
Trifloxystrobin	2	12.5	60	20
Azoxystrobin	1	6.2	5	1.6
Triadimefon	1	6.2	5	1.6
Tiabendazol	1	6.2	10	3.3
Benomil	1	6.2	10	3.3
Carbendazim	1	6.2	5	1.6
Oxadixil	1	6.2	5	1.6
Benzotiazol	1	6.2	25	8.3
Metalaxil	1	6.2	25	8.3
Clortalonil	1	6.2	25	8.3
Triforine	1	6.2	25	8.3
<i>Herbicidas</i>				
Trifluralina	1	6.2	10	3.3
Glifosato	1	6.2	5	1.6

tina, por lo que se promueve prohibir o restringir su uso mediante acuerdos internacionales (Nieto, 2001).

Solamente el 18.7% de los programas incluyó control biológico, liberando *Trichograma sp.* y crisopa en el 29.3% de la superficie y *Beauveria bassiana* en tan solo el 6%. El 6.2% de los programas empleó los productos naturales azadiractina y alomonas, mismos que se aplicaron al 6% de la superficie.

Dentro de los fungicidas/bactericidas, el 81.2% de los programas incluyó productos a base de cobre. El 66.3% de la superficie se protegió con oxicluro de cobre y el 48.6% con sulfato de cobre. En el 64.6% de la superficie se aplicó mancozeb, que es empleado en el 62.5% de los programas.

Los fungicidas del grupo de las estrobirulinas (Azoxystrobin, Kresoxim-Metil y Trifloxystrobin) son empleados por el 37.5% de los programas. De ellos el más utilizado, Kresoxim-Metil se aplicó en el 24.3% de la superficie. El 52% de las hectáreas se trató con estreptomina y el 49.6% con oxitetraciclina. En diversos casos los antibióticos se combinaron con cobre en productos mixtos. El 18.7% de los programas aplicó azufre en el 40% de la superficie cultivada.

Solo dos programas de manejo incluyeron el uso de herbicidas. Trifluralina se aplicó en el 3% de la superficie cultivada y Glifosato (no autorizado para el cultivo de chile) en el 1.6% de las hectáreas.

El impacto ambiental de los programas empleados para el control de plagas en el cultivo de chile fue muy variable, encontrándose algunos que ejercieron un impacto relativamente bajo de 147 unidades hasta aquellos cuya alta dependencia de plaguicidas llevó a alcanzar las 818 unidades, que representan un alto riesgo ambiental (Cuadro 2).

De acuerdo a los cocientes calculados, se puede considerar que el 37.5% de los programas ejerce una fuerte presión ambiental (IAC >550), por lo que deberán realizarse esfuerzos tendientes a promover productos, dosis y aplicaciones más racionales, tal y como lo realiza otro 37.5% de los agricultores (IAC <290). El 25% de los programas restantes puede catalogarse como intermedios (IAC entre 300 a 500), con

Cuadro 2. Impacto ambiental de 16 programas de control de plagas en el cultivo de chile en la Zona de Jiménez-Villa López, Chih. 2001-2002.

Lote	Insecticidas/ Acaricidas		Fungicidas/ Bactericidas		Total IAC
	IAC	%	IAC	%	
Miramontes	210	25.7	608	74.3	818
Jacales	336	48.2	361	51.8	697
San Felipe III	80	12	570	88	650
El Porvenir	143	25	414	75	557
Tierra Blanca	13	2	500	97	513
Rancho Nuevo	269	41.4	380	58.6	649
San Fernando	405	98	11	2	416
El Aguila	167	39	261	61	428
Villa López II	242	65	131	35	373
Villa López I	233	64	131	36	364
Villa Coronado	156	54	134	46	290
San Felipe II	36	14	230	86	266
California	198	75	67	25	265
Jacobo*	162	69	35	15	233
Delicias**	184	81	29	13	226
San Felipe I	145	99	2	1	147

IAC = Impacto ambiental en campo.
% = Por ciento con respecto al impacto total estimado.
* 16% corresponde a herbicidas.
** 6% corresponde a herbicidas.

algunos riesgos por el manejo que se está dando a ciertos productos empleados.

Es evidente que el manejo que se realiza de algunos productos como oxicloruro de cobre, mancozeb, endosulfan y azufre, está generando serios incrementos en los índices de impacto ambiental. De ahí que

Cuadro 3. Impacto ambiental de cuatro programas para el control de insectos plaga en el cultivo de chile en la Zona de Jiménez-Villa López, Chih. 2001-2002.

Programa	CIA	ia	d	a	IAC
Ej. Jacales	56.8	.3321	1.5	1	28
Carbofuran	52.8	.338	1.5	1	27
Clorpirifos	56.4	.483	1.0	1	27
Permetrina	52.8	.75	1.0	1	40
Clorpirifos	26.0	0.18	.800	2	7
Abamectina	23.2	.887	1.5	3	93
Malation	22.6	.80	1.0	3	54
Carbaril	40.5	.33	1.5	3	60
Endosulfan					
<i>IAC x Insecticidas</i>					336
Ej. El Porvenir					
Endosulfan	40.5	.35	1.25	2	35
Carbaril	22.6	.80	1.5	1	27
Dimetoato	74.022.9	.40	1.0	2	59
Oxamyl		.24	2.0	2	22
<i>IAC x Insecticidas</i>					143
San Felipe III					
Trichograma				2	
Crisopa				2	
Metamidofos	64.1	.483		1	31
Paratión Metílico	104.4	.472	1.0	1	49
<i>IAC x Insecticidas</i>			1.0		80
San Felipe II					
Beauveria bassiana			1.0	10	
Alomonas			1.0	8	
Azadiractina			1.0	8	
Trichograma				4	
Crisopa	22.6	.80		4	
Carbaril			1.0	2	36
<i>IAC x Insecticidas</i>					36

CIA = Cociente de Impacto Ambiental.
ia = Ingrediente activo.
d = Dosis empleada.
a = Número de aplicaciones.
IAC = Impacto ambiental en campo.

una adecuada planeación debe considerar el empleo de formulaciones con bajo porcentaje de ingrediente activo, dosis bajas y aplicaciones bien programadas, con el fin de reducir su número. En este sentido, el muestreo de los lotes con fines de detección oportuna de las plagas es determinante (Luckman y Metcalf, 1994; Pedigo, 1991).

Algunos de los programas de manejo de insectos plaga identificados en la región se comparan en el Cuadro 3, donde puede apreciarse que los riesgos ambientales son variables como consecuencia de la existencia de programas que emplean hasta ocho productos diferentes mientras hay quienes solo utilizan la mitad y otros que ponderan más el empleo de control biológico y natural.

De los insecticidas/acaricidas, endosulfan y clorpirifos son los más empleados en la producción de chile, de ahí que su manejo adecuado será determinante para reducir los riesgos ambientales. La forma en que el manejo modifica el impacto se muestra en el Cuadro 4, donde puede notarse que endosulfan puede generar valores desde 43 hasta 85, dependiendo sobre todo

de la dosis y el número de aplicaciones, mientras que el IAC de clorpirifos depende más de la cantidad de ingrediente activo, ya que varía de 27 a 40 debido principalmente a la cantidad de ingrediente activo en la formulación.

Es interesante el uso frecuente de Clorpirifos en la zona, ya que es un producto que está en fase terminal en varios países como Estados Unidos, en donde su empleo en manzana y vid se ha restringido y en tomate se ha eliminado. Esto obedece a que recientemente se han reconocido riesgos que este plaguicida representa para la salud humana, particularmente contra la población infantil (EPA, 2000). Ante esta situación resulta conveniente reconocer que dentro de los productos que se emplean en la región, endosulfan, metamidofos, imidacloprid, esfenvalerato, permetrina, metomilo y azadiractina son alternativas al clorpirifos que la EPA (2003) considera en el cultivo de tomate. De estos, endosulfan también debe restringirse, pues en este estudio ejerció mayor presión sobre el ambiente que clorpirifos, además que se le han encontrado propiedades estrogénicas comparables a las del DDT que pueden generar efectos reproductivos deletéreos (Soto *et al.*, 1994). Aquí adquieren mayor interés los datos expuestos anteriormente en referencia a la superficie tratada con estos plaguicidas (Cuadro 1), ya que la superficie tratada y el número de aplicaciones realizadas son datos que en estudios epidemiológicos relacionados con plaguicidas son indicadores de la exposición de las poblaciones humanas a los plaguicidas (Harris *et al.*, 2002).

En relación al control biológico, son ampliamente reconocidas sus bondades cuando se buscan estrategias ecoracionales

Cuadro 4. Impacto ambiental de endosulfan y clorpirifos con diferente manejo en la Zona de Jiménez-Villa López, Chih. 2001-2002.

Producto	CIA	ia	d	a	IAC
Endosulfan	40.5	.35	1.5	2	43
	40.5	.33	1.5	3	60
	40.5	.35	2.0	3	85
Clorpirifos	52.8	.338	1.5	1	27
	52.8	.48	1.5	1	38
	52.8	.75	1.0	1	40

CIA = Cociente de Impacto Ambiental.
 ia = Ingrediente activo.
 d = Dosis empleada.
 a = Número de aplicaciones.
 IAC = Impacto ambiental en campo.

para el control de plagas, sin embargo en la zona de estudio sólo el 18.7% de los programas incluyó agentes biológicos. Este dato establece la necesidad de promover su uso en la zona, lo que además requiere minimizar el uso de insecticidas y utilizar solo aquellos que se puedan combinar con agentes biológicos de control; en este sentido carbaril puede ser una buena alternativa, ya que su empleo no afecta las poblaciones de depredadores y parásitos (Peet, 2000), aunque se corre el riesgo de incre-

mentos en las poblaciones de áfidos, ya que estimula su reproducción.

Con respecto a programas de manejo de enfermedades, en el Cuadro 5 se comparan algunos identificados en la región. Del análisis realizado se desprende que el impacto ambiental generado por fungicidas/bactericidas es mayor al generado por insecticidas/acaricidas, lo cual puede obedecer en parte a que en los últimos años se ha incrementado la incidencia de las enfermedades foliares en el cultivo de chile (Guigón y González, 2000), y con ello también ha aumentado el uso de productos químicos. Resultados similares reportan Bues *et al.* (2003), quienes mencionan que los fungicidas fueron los principales responsables del impacto ambiental por plaguicidas en tomate en diferentes países del Mediterráneo.

El impacto generado por fungicidas/bactericidas pone en evidencia un error en la percepción de los agricultores de que estos compuestos, principalmente mancozeb y los derivados del cobre, son blandos y pueden aplicarse indiscriminadamente. También establece la necesidad de combinar el control químico con otros métodos de control biológico, cultural y de resistencia genética con el fin de reducir su uso o modificar el manejo que de ellos están realizando los agricultores (Bauer, 1987; Avelar, 1989; Goldberg, 1998). En este afán de diseñar estrategias efectivas y ecoracionales, el uso de principios epidemiológicos será de utilidad como herramienta que permite el conocimiento de la estructura de las epidemias y el diseño de estrategias de manejo (Avelar, 1989; Guigón y González, 2000).

Oxicloruro de cobre y mancozeb son los productos que más se emplean en la re-

Cuadro 5. Impacto ambiental de tres programas para el control de enfermedades en el cultivo de chile en la Zona de Jiménez-Villa López, Chih. 2001-2002.

Programa	CIA	ia	d	a	IAC
Ej. Miramontes					
Estreptomicina	18.7	.14	.600	2	3
Sulfato de Cobre	33.3	.39	.600	2	16
Oxicloruro de Cobre	33.3	.39	3.0	3	117
Mancozeb	62.3	.30	3.0	3	168
Estreptomicina	18.7	.40	.600	1	4
Mancozeb	62.3	.80	3.0	2	299
Sulfato de Gentamicina	18.7	.02	.800	1	1
<i>IAC x Fungicidas/Bactericidas</i>					608
El Porvenir					
Azoxystrobin	24.6	.50	.250	2	6
Triadimefon	33.3	.25	1.5	1	12
Sulfato de Cobre	47.8	.80	2.5	2	191
Azufre	45.5	.90	2.5	2	205
<i>IAC x Fungicidas/Bactericidas</i>					414
Villa Coronado					
Gentamicina	18.7	.02	.800	1	1
Oxicloruro de Cobre	33.3	.39	2.0	2	52
Mancozeb	62.3	.30	2.0	2	75
Propiconazol	26.1	.255	.400	2	5
Oxitetraciclina	18.7	.0603	.500	1	1
<i>IAC x Fungicidas/Bactericidas</i>					134

CIA = Cociente de Impacto Ambiental.
 ia = Ingrediente activo.
 d = Dosis empleada.
 a = Número de aplicaciones.
 IAC = Impacto ambiental en campo.

gión para el control de enfermedades y, al igual que sucede con los insecticidas, su manejo determinó el impacto que ejercieron sobre el medio ambiente (Cuadro 6).

Aun y cuando los productos derivados del cobre son baratos y de amplio espectro, y a pesar de que es considerado un producto de baja toxicidad (Mota, 1998), su manejo elevó los riesgos de tal forma que llegaron a superar ampliamente el impacto de productos insecticidas; esto fue evidente al observar los valores del IAC, que fluctuaron desde 16 hasta 117. Esta información es de importancia, ya que una limitante fuerte de estos productos es precisamente el riesgo de que puedan igualar la toxicidad de insecticidas como los clorados y organofosforados (Bauer, 1987). Otras limitaciones pueden derivarse de las nuevas disposiciones ambientales, ya que los estándares de calidad del agua han puesto especial atención a los contaminantes tóxicos prioritarios, dentro de los cuales se ha ubicado el cobre y sus derivados (EPA, 2003). Así pues, el manejo adecuado de los derivados del cobre es la medida que permitirá continuar con su empleo en los programas de control de enfermedades.

En el caso del mancozeb, los riesgos se relacionaron estrechamente con la cantidad de ingrediente activo, observándose que su IAC varió considerablemente de 37 a 299. En el caso más serio la cantidad de ingrediente activo presente en la formulación de este producto generó un alto impacto (IAC=299), mayor incluso que el de otros programas completos detectados en este estudio. Resultados similares reportan Ramírez y Jacobo (2002), quienes encontraron una correlación del impacto ambiental de plaguicidas con la cantidad total de ingrediente activo utilizado en el cultivo

Cuadro 6. Impacto ambiental de oxiclورو de cobre y mancozeb con diferente manejo en la Zona de Jiménez-Villa López, Chih. 2001-2002.

Producto	CIA	ia	d	a	IAC
Oxicloruro de Cobre	33.3	.39	3.0	3	117
	33.3	.39	2.0	2	52
	33.3	.39	2.0	1	26
Mancozeb	62.3	.80	3.0	2	299
	62.3	.30	4.0	2	150
	62.3	.30	2.0	2	75
	62.3	.30	2.0	1	37

CIA = Cociente de Impacto Ambiental.
 ia = Ingrediente activo.
 d = Dosis empleada.
 a = Número de aplicaciones.
 IAC = Impacto ambiental en campo.

de manzano. De acuerdo con esto, el empleo de mancozeb debe realizarse más cuidadosamente, poniendo especial atención en el empleo de formulaciones con bajo porcentaje de ingrediente activo y tomando en cuenta que este producto representa riesgos contra la salud que han motivado la presión de grupos ambientalistas en Estados Unidos. Estos riesgos se relacionan con la probable capacidad carcinogénica en humanos (EPA, 2002), dermatitis y dermatitis fotoalérgica (USFS, 1996), y principalmente en que es un inhibidor de la tiroide peroxidasa, afectando el funcionamiento normal de la glándula tiroidea (Colborn *et al.*, 1993; Hurley *et al.*, 1998).

Finalmente, debemos considerar que la evaluación del impacto ambiental busca identificar y pronosticar el impacto de las acciones del control de plagas en el ambiente biogeofísico y en el bienestar de la población. En este sentido, los resultados obtenidos demuestran que el uso de plaguicidas en el cultivo de chile puede representar serios riesgos en algunas localidades de la zona, en virtud de lo cual se de-

berá iniciar con estudios tendientes a determinar:

- a) La efectividad de productos empleados regionalmente.
- b) Los niveles de resistencia desarrollados por los principales insectos y patógenos, e integrar un manejo rotacional de plaguicidas.
- c) La presencia de residuos peligrosos en la cosecha, en agua superficial y subterránea y en el suelo.
- d) La capacidad de ingredientes activos de origen vegetal y de agentes biológicos para controlar insectos y patógenos.

La meta final será implementar un programa de manejo integrado de plagas en el cultivo de chile en el que las medidas culturales y el empleo de control biológico jueguen un papel más importante y en el que la selección adecuada, además del uso eficiente y rotacional de plaguicidas, permitan reducir no solo los costos de producción, también los riesgos contra la salud humana, contra la vida silvestre y contra el medio ambiente en general.

Conclusiones

Se identificaron 48 productos y 16 programas diferentes para el control de plagas en el cultivo de chile. Los riesgos más importantes se relacionan con los fungicidas/bactericidas, cuyo impacto ambiental es mayor al generado por insecticidas/acaricidas, sin embargo el manejo que se realiza de estos productos modifica los índices observados. Considerando su elevado uso en la zona, su impacto ambiental y los riesgos contra la salud que representan, los plaguicidas de mayor peligro son endosulfan, clorpirifos, oxiclورو de cobre y mancozeb. 9

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al personal de la Junta Local de Sanidad Vegetal de la Región Jiménez, en Jiménez, Chihuahua, por el apoyo brindado en la aplicación de las encuestas.

Literatura citada

- AVELAR, M.J. J. 1989. Intentos de Control de la Marchitez del Chile Ocasionada por el Hongo *Phytophthora capsici* L. en la Región de Valsequillo, Puebla, Mex. *Tesis. Maestría en Ciencias*. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. de México. 66 p.
- AVENDAÑO, M., F., Gastélum, L.R., Ruiz, V., M. y López, M., M. 2001. Susceptibilidad del Picudo del Chile (*Anthonomus eugenii*) Cano (*Coleoptera:Curculionidae*) a Insecticidas en Culiacán, Sin. *En: XXXVI Con. Nal. de Entomología. Memorias*. Querétaro, Qro. E-106.
- BAUER, M. L. de 1987. Fitopatología. Colegio de Postgraduados. Ed. LIMUSA. México, D.F. 384 p.
- BARROS, B. F. 2001. Comparación del Impacto Ambiental de Diferentes Programas de Manejo Fitosanitario en Manzano. Memoria de Título. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agro- nomía. Talca, Chile.
- BRAVO, M. E. 2002. Uso Reducido de Insecticidas y Control Biológico de Plagas del Jitomate en Oaxaca. *Agricultura Técnica en México* 28 (2):137-149.
- BUES, R., P. Bussièeres, M. Dadomo, Y. Dumas, M. I. Garcia-Pomar and J. P. Lianas. 2003. Assessing the environmental impacts of pesticides used on processing tomato crops. *Agriculture Ecosystems & Environment* 102 (2):155-162. Disponible online 20 de octubre 2003.
- CASTRO, F. R., García A. J. S. y Galán W.L.J. 2000. Aportaciones de la Biotecnología de Formulados a Base de *Bacillus thuringiensis* para el Control de Plagas Agrícolas. *En: Pedroza, S.A., Esparza, M.J.H y Ruiz, T.J (Eds.). Aprovechamiento Integral de los Recursos Naturales en Zonas Áridas. URUZA, Bermejillo, Dgo. México. P. 71-87.*
- COLBORN, T., F. S. Vom Saai and A.M. Soto. 1993. Developmental Effects of Endocrine-Disrupting Chemicals in Wildlife and Humans. *Environ. Health Perspectives* 101: 378-384.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 2000. Chlorpyrifos Revised Risk Assessment and Agreement UIT Registrats. United States Environmental Protection Agency. Prevention, Pesticides and Toxic Substances. <http://www.epa.gov/oppsrrd1/op/chorpirifos/>
- _____. 2002. Pesticides Fact Sheets. United States Environmental Protection Agency. Prevention, Pesticides and Toxic Substances. <http://www.epa.gov/pesticides/factsheets>
- _____. 2003. Copper Compounds EPA Rule- Water Quality Standard. <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/fung-nemat/acetacid-etrizazole/c.../copper-standar.htm>
- GARTHWAITE, D. G. and M.R. Thomas. 1999. Pesticide Usage Survey Report 159. Arable Farm Crops in Great Britain. 1998. Pesticide Usage Survey Group. Central Science Laboratory. Sand Hutton. York.
- GRANADOS, S. D. y Pérez, C..M. L. 1995. Ecología e Impacto Ambiental. SEP. SEIT. DGETA. México, D.F. 167 p.
- GOLDBERG, N.P. 1998. Chile Pepper Diseases. Agr. Exp. Station. Circular 549. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. 20 p.

- GUIGÓN, L. C. y González, G.P.A. 2001. Estudio Regional de las Enfermedades del Chile (*Capsicum annuum*, L.) y su Comportamiento Temporal en el Sur de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19:49-56. HARRIS, S. A, Sass-Kortsak AM, Corey PN, Purdham J. 2002. Development of models to predict dose of pesticides in professional turf applicators. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 12:130-144.
- HENRY, J.G y O.J.C. Runnalls. 1999. Residuos Peligrosos. En: Henry, J.G. y G.W. Heinke (eds.). *Ingeniería Ambiental*. 2da. Edición. Prentice Hall Inc. México. Pp 620- 684.
- HURLEY, M.P., Hill, R.N. and R.J. Whiting. 1998. Mode of Carcinogenic Action of Pesticides Inducing Thyroid Follicular Cell Tumors in Rodents. *Environ. Health Perspect* 106:437-445.
- JORGENSEN, L.J. 2001. Aldrin and Dieldrin: A Review of Research on Their Production, Environmental Deposition and Fate, Bioaccumulation, Toxicology and Epidemiology in the United States. *Environ. Health Perspect* 109 (suppl 1):113-139.
- KOVACH, J., Petzdolt, C., Degni, J. and Tette, J. 1992. A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides. New York's Food and Life Sciences. Bulletin No. 139. Cornell University, Ithaca, N.Y. 8 p.
- LUGO, B., D. 1998. Regulación del Uso y Registro de Plaguicidas en México. En: Romero, N., J. y Anaya, R., S. (Comps.). 1998. *Plagas y Enfermedades de las Hortalizas en México*. SEP. SEIT. DGETA. México, D.F. pp. 295-310.
- LUJÁN, F.M. y S.N. Chávez. 2003. El arreglo topológico y su efecto en el crecimiento, desarrollo y producción del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Fitotecnia Mex.* 26 (2):81-87.
- MERGALEF, R. 1991. Ecología. Ed. Omega. Barcelona, España. 951 p.
- METCALF, R.L. 1994. Insecticidas en el Manejo de Plagas. En: R.L. Metcalf y W.H. Luckman (eds.). *Introducción al Manejo de Plagas de Insectos*. Ed. Limusa. México. Pp. 271-344.
- MOROZ, W.J. 1999. Contaminación del Aire. En: Henry, J.G. y G.W. Heinke (eds.). *Ingeniería Ambiental*. 2da. Edición. Prentice Hall Inc. México. Pp 492- 566.
- MOTA, S., D. 1998. Plaguicidas Autorizados en México. En: Romero, N., J. y Anaya, R., S. (Comps.). 1998. *Plagas y Enfermedades de las Hortalizas en México*. SEP. SEIT. DGETA. México, D.F. pp. 246-248.
- NIETO, Z. O. 2001. Fichas Técnicas de Plaguicidas a Prohibir o Restringir Incluidos en el Acuerdo No. 9 de la XVI Reunión del Sector Salud de Centroamérica y República Dominicana (RESSCAD). Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud. (OPS/OMS) San José, Costa Rica.
- ODEPA-SAG-RPC 1999. Manual de capacitación para el buen uso y manejo de plaguicidas Comité proyecto Chile-Canadá. Primera Serie. 163 pp.
- PEET, M. 2002. Sustainable Practices for Vegetable Production in the South. NC State University. <http://www.cals.ncsu.edu:8050/sustainable/peet>
- PEDIGO, P.L. 1991. Entomology and Pest Management. MacMillan Pub. Co. 645 p.
- RAMÍREZ, L., M., R., y Jacobo, C., J., L. 2002. Impacto Ambiental del Uso de Pesticidas en Huertos de Manzano del Noroeste de Chihuahua. *Revista Mexicana de Fitopatología* 20:168-173.
- RUESINK, G.W. y Kogan, M. 1994. Bases Cuantitativas del Manejo de Plagas: Muestreo y Medición. En: R.L. Metcalf y W.H. Luckman (eds.). *Introducción al Manejo de Plagas de Insectos*. Ed. LIMUSA. México. Pp. 389-434.
- SEGURA, M., A. 1998. Técnicas para Determinar Residuos de Plaguicidas. En: Romero, N., J. y Anaya, R., S. (Comps.). 1998. *Plagas y Enfermedades de las Hortalizas en México*. SEP. SEIT. DGETA. México, D.F. pp. 295-310.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL. 2002. Programa Sectorial 2001-2004. Secretaría de Desarrollo Rural, Gobierno del Estado de Chihuahua. 91 p.
- SIVILLA, 2001. Prioridades del Sector Agropecuario y Forestal para la Formulación de Proyectos Integrales. COMPILACIÓN. Sistema de Investigación Francisco Villa. SEP. CONACYT. 157 p.
- SOTO, A.M., Chung, K., L. and C. Sonneschein. 1994. The Pesticides Endosulfan, Toxaphene and Dieldrin Have Estrogenic Effects on Human Estrogen-Sensitive Cells. *Environ. Health Perspect* 102:380-383.
- UNITED STATES FOREST SERVICE. Southwest Region (USFS). 1996. Nursery Pest Management Humboldt Nursery Final Environmental Impact Statement. San Francisco, CA.

Este artículo es citado así:

GUIGÓN-LÓPEZ, C. y P. A. González-González. 2007. Manejo de plagas en el cultivo de chile y su impacto ambiental en la zona agrícola de Jiménez-Villa López, Chihuahua, México. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 1(2): 36-47.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

CÉSAR GUIGÓN LÓPEZ. Durante el periodo 1982-1986 cursó su carrera profesional en el Instituto Tecnológico Agropecuario No. 24 de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, otorgándosele el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. En el periodo 1992-1994 realizó estudios de posgrado en el Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, otorgándosele el grado de Maestro en Ciencias, con especialidad en Parasitología Agrícola. El M. C. Guigón ha participado en la organización de congresos científicos, forma parte del Comité Evaluador de proyectos de investigación de Fundación Produce Chihuahua; es miembro de la Sociedad Mexicana de Fitopatología y Editor Asociado de la Revista Mexicana de Fitopatología. Actualmente ocupa el cargo de Director del Centro de Investigación para los Recursos Naturales (CIRENA), localizado en Salaices, Chihuahua; también es catedrático de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, donde imparte clases en los niveles de licenciatura y posgrado. En resumen, el M. C. Guigón tiene una vasta experiencia como administrador, investigador y docencia en el área de Ciencias Biológicas, y su especialización está orientada hacia la Fitopatología y Parasitología Agrícola.

PABLO ANDRÉS GONZÁLEZ GONZÁLEZ. Realizó su carrera profesional en el periodo 1982-1986 en el Instituto Tecnológico Agropecuario No. 24 de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, recibiendo el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Durante los años 1989-1991 realizó estudios de posgrado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, otorgándosele el grado de Maestro en Ciencias, con especialidad en Estadística Experimental. El M. C. González ha sido investigador del Centro de Investigación para los Recursos Naturales (CIRENA), localizado en Salaices, Chihuahua; además, ocupó los cargos de Subdirector Técnico y Administrativo del CIRENA. Actualmente está adscrito al Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18, donde desempeña actividades docentes y de investigación. Su producción académica incluye su colaboración en 16 ponencias presentados en congresos científicos, así como cuatro artículos publicados en revistas científicas arbitradas. El M. C. González posee experiencia como administrador, docente e investigador; su investigación está orientada principalmente hacia la Fitopatología y la Educación.

Separabilidad espectral de cultivos agrícolas con Imágenes Landsat TM

Spectral separation of agricultural crops with Landsat TM Images

CARLOS MANJARREZ-DOMÍNGUEZ^{1,*}, CARMELO PINEDO-ÁLVAREZ²,
CRISTINA ELIZABETH VÉLEZ-SÁNCHEZ VERÍN², ALFREDO PINEDO-ÁLVAREZ³

Recibido: Junio 5, 2006

Aceptado: Agosto 28, 2007

Resumen

Los sensores remotos de diversas plataformas satelitales representan una herramienta para apoyar la toma de decisiones; la necesidad de contar con información ordenada y confiable sobre fenómenos de producción, establecimiento y manejo de áreas agrícolas motivó la ejecución de esta investigación que tuvo como objetivo analizar la separabilidad espectral de cultivos agrícolas del módulo 9 en el municipio de Meoqui, Chihuahua. Se utilizó el plano digital vectorizado del Distrito de Riego 005 y se georreferenció a través de puntos de control terrestre localizados mediante sistemas de posicionamiento global. Los puntos de control terrestre fueron ubicados en las imágenes compuestas de Landsat TM y en las cartas topográficas escala 1:50,000. En las parcelas bajo muestreo se realizó el análisis de separabilidad espectral de los cultivos de chile, nogal, cebolla, sandía y alfalfa, utilizando ventanas de 3x3 píxeles para coleccionar valores de reflectancia para cada banda de Landsat TM. Estadísticas descriptivas apoyaron la discriminación espectral. Se obtuvo un plano cartográfico digital del Módulo 9 del Distrito de Riego 005, orientado y georreferenciado con buen nivel de precisión. El análisis espectral de los cinco cultivos evaluados concentra la mayor parte de la información en un rango de 45 ND's (números digitales), con valores mínimos de 80 ND's y máximos de 125 ND's en las bandas visibles del espectro. La banda 3 mostró mayor capacidad para separar las firmas espectrales en comparación al resto de las bandas. Para el análisis simultáneo de los cinco cultivos y la generación de mapas a partir de clasificaciones exitosas, se sugiere utilizar las bandas 1, 2, 3 y 7, debido a que ofrecen mayor información, ya que ubican en forma precisa y sin confusión las distintas firmas espectrales de los cultivos.

Palabras claves: *Números Digitales, Landsat TM, Firma Espectral.*

Abstract

Remote sensors from diverse satellite platforms provide a tool to support decision-making. However, the need to have reliable and ordered information on production, establishment and management of crops areas triggered this project. The objective is to analyze the spectral separability of agricultural crops of Module 9 in Meoqui county in Chihuahua state. To develop this project, the vectorized digital plane of Irrigation District 005 was geo-referenced through landmarks located by global positioning systems. The landmarks were positioned in several composited Landsat TM images in a scale of 1:50,000. In the sampled areas, the spectral separation analysis of the main crops (chile, pecan, onion, watermelon and alfalfa) was done using 3x3 pixel windows to obtain reflectance values for each Landsat TM band. Descriptive statistics supported the spectral discrimination. A cartographic map was obtained from Irrigation Module 9 of the district, directing and geo-referenced with high precision. The spectral analysis of the five crops concentrated most information in a rank of 45 ND's (digital numbers) with 80 minimum values and 125 maximum values in the visible spectrum bands. Band number 3 showed the best capacity to split the spectral signature. For the simultaneous analysis of the five crops and the map generation with successful classifications, a combination of bands 1, 2, 3 and 7 is proposed because these bands offer more information which perfectly and clearly locate different crop spectral signatures.

Key words: *Digital Number, Landsat TM, Spectral Signature.*

Introducción

Los sensores remotos integrados a sistemas de información geográfica presentan un uso cada vez más frecuente en la producción agrícola, principalmente monitoreo y mapeo de plagas (Holmstrom *et al.*, 2001), aplicación de agricultura de precisión (MacRae, 1989) y modelación espacial para la predicción de cosechas (Johnson, 1989). Estas herramientas representan un soporte importante para apoyar la toma de decisiones mediante sistemas de planeación a escala regional en los distritos de riego (Alexandre *et al.*, 2005).

Actualmente existe una variedad de satélites de diferente resolución espacial, temporal y espectral apropiados para varias aplicaciones agrícolas (Moran *et al.*, 2002). A este respecto, los sensores remotos ofrecen técnicas metodológicas que pueden ser útiles debido a su análisis sinóptico, dada su alta información espacial y sus mediciones frecuentes de una parcela en el campo (Nieuwenhuis y Mucher, 1998). La plataforma Landsat TM proporciona información en las regiones térmicas, visibles e infrarrojas del espectro electromagnético utilizadas en múltiples aplicaciones agrícolas como programación de riegos, predicción de cosechas, detección de plagas y enfermedades, y más recientemente en contaminación y fertilidad de suelos (Henríquez *et al.*, 2005).

Sun (2000) resalta la importancia del uso de sensores remotos para el monitoreo dinámico del crecimiento de los cultivos y la estimación de las cosechas en China basados en los principios biofísicos de la percepción remota. Setter *et al.* (2000) utilizaron imágenes multitemporales Landsat

TM del mismo año para caracterizar la agricultura y relacionar la cobertura en diferentes tipos de suelo al oeste de Oregon, USA. Raupenstrauch y Selige (1998) mencionaron que un monitoreo de clasificación de cultivos puede estimar el nivel de balance de nutrientes en los campos agrícolas, con el fin de evitar riesgos ecológicos.

En ambientes agrícolas, las respuestas espectrales en los estados iniciales de crecimiento y en las etapas finales del cultivo muestran una mezcla compleja entre el suelo y la vegetación que varían de acuerdo con la localización de las áreas de cultivo, por lo que el conocimiento de respuestas espectrales *in situ* es útil para caracterizar las condiciones de las parcelas en producción (Senay *et al.*, 2000). En el dominio del espectro del infrarrojo cercano y medio cercano (700 a 1300 μm), la reflectividad de las hojas es controlada por su estructura celular y muestra los valores más altos de reflectividad, mientras que en el espectro visible (400 a 700 μm), la reflectividad está controlada por la concentración de pigmentos en la hoja, principalmente clo-

¹ Estudiante de Posgrado en la Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia Periférico Francisco R. Almada, Km. 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. C. P. 31031. Chihuahua, Chih. México. Tel. (614) 434-0303.

² Profesores-investigadores de la Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km. 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. C. P. 31031. Chihuahua, Chih. México. Tel. (614) 434-0303. cpinedo@uach.mx.

³ Estudiante de Posgrado en la Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia Periférico Francisco R. Almada, Km. 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. C. P. 31031. Chihuahua, Chih. México. Tel. (614) 434-0303. apinedoa@yahoo.com.mx.

* Dirección electrónica del autor de correspondencia: carlosmd23@hotmail.com.

rofila y carotenoides (Curran, 2005). Sin embargo, persiste una falta de entendimiento del comportamiento espectral de la reflectividad del follaje de los cultivos, el cual obedece a principios biofísicos y bioquímicos (Paz-Pellat *et al.*, 2005). En este sentido, la aplicación de imágenes de satélite representan una herramienta importante para la planeación, manejo y monitoreo de cultivos agrícolas en los distritos de riego en Chihuahua, México, ya que es posible el manejo de la información para estimar rendimientos de cosecha y densidad total de siembra, clasificar cultivos, establecer estrategias de comercialización y mecanismos que permitan la administración sustentable de los recursos agrícolas en la región.

Por lo antes expuesto, el objetivo principal de este estudio fue determinar la separabilidad espectral de los principales

cultivos agrícolas que convergen en el área de estudio: chile (*Capsicum Nahum*), nogal (*Junglas regia*), cebolla (*Allium cepa*), alfalfa (*Medicago sutiva*) y sandía (*Citrullus vulgaris*).

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Módulo 9 del Distrito de Riego 005 en el estado de Chihuahua (Figura 1), ubicado entre los 27° 76' latitud norte y 105° 19' longitud oeste, con una altitud promedio de 1,165 msnm (INEGI, 1999).

En un área estimada de 8500 hectáreas sobresalen los cultivos de alfalfa, sandía, cebolla, chile y nogal. De acuerdo al sistema de Koppen, el clima es seco, desértico, con el régimen de lluvias en el verano y muy extremo. Las temperaturas medias mensuales varían de 10.5 a 30 °C, con un promedio anual de 15 °C y una oscilación aproximada de 17 °C. El periodo libre de heladas es de 172 a 286 días, con una media de 229 días y una probabilidad de ocurrencia del 50%. La precipitación promedio anual es de 280 mm, de los cuales el 85% ocurre en el periodo de junio a octubre. Los suelos, según INIFAP (2003), son de origen aluvial, identificándose 17 series. En general, los suelos contienen algunas cantidades de carbonato de calcio y sales de sodio, debido a un drenaje deficiente característico de esta región. En algunas áreas se han acumulado depósitos de material soluble, dando origen a suelos salinos y/o sódicos. En cuanto a la hidrología, la principal corriente superficial está formada por el río Conchos y sus tributarios (CONAGUA, 2002).

Como fuentes de datos se utilizaron imágenes del satélite Landsat TM (Thematic Mapper) de agosto del 2002 asociadas a

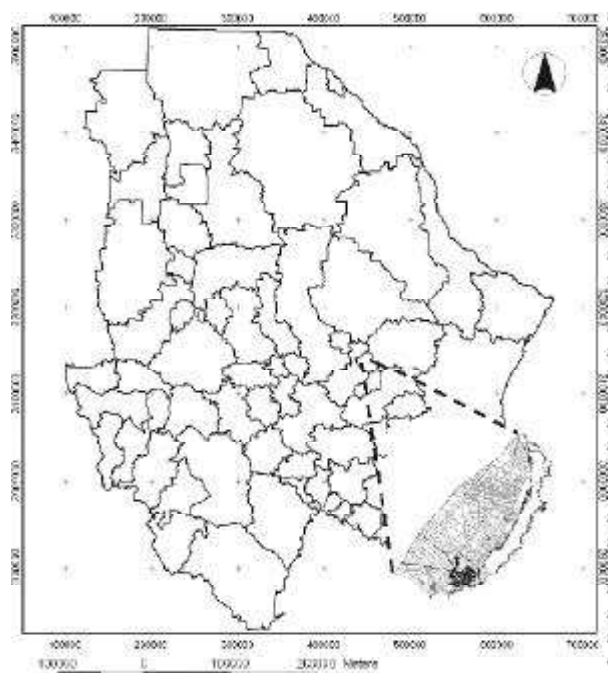


Figura 1. Localización del Módulo 9 dentro del Distrito de Riego 005 en Chihuahua.

la fecha de desarrollo y cosecha de los cultivos bajo estudio. Para la ubicación de las parcelas se tomaron datos de referencia en campo como puntos de control terrestre (PCT) mediante un Sistema de Posicionamiento Global con precisión submétrica en tiempo real. Debido a la resolución espacial del instrumento y la resolución media espacial de las imágenes, éstas se sometieron a un proceso de corrección geométrica estricto hasta obtener un error de localización menor al 0.25 de píxel y asociados a los PCT obtenidos. También se asoció al plano digital del Módulo 9 con la inclusión del parcelamiento, padrón, canales y drenes principales, poblaciones y vías de comunicación.

La selección de los cultivos se obtuvo por información disponible que permitió identificarlos de acuerdo a la superficie establecida y la rentabilidad económica que originan en el módulo. Los cultivos seleccionados fueron alfalfa, nogal, sandía, chile y cebolla. Para extraer la información espectral, a cada una de las bandas de Landsat TM se le aplicó un análisis radiométrico mediante el despliegue de un histograma de clases, para identificar posibles ruidos debido al ángulo solar y movimientos del sensor. Posteriormente se realizó una corrección atmosférica aplicando un realce de saturación con puntos, para eliminar los efectos de nubosidad, poluentes y otros factores atmosféricos que afectan principalmente el sector visible.

La información espectral de los cultivos se analizó mediante estadísticos descriptivos básicos. Para conocer el contenido espectral y redundancia de información de las bandas de Landsat TM, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) que permitió detectar, mediante ma-

trices, las bandas menos correlacionadas para construir las composiciones en falso color (selección de bandas) y estratificar las escenas en subescenas para un análisis con mayor detalle, de acuerdo a los procedimientos sugeridos por Eastman (1992). Este procedimiento permitió además detectar cambios en la cobertura de clases del módulo agrícola.

Para generar el plano digital actualizado fue necesario asociar la geometría del plano a las cartas topográficas previamente adquiridas. Se localizaron los PTC a partir de elementos identificables en el terreno y la utilización de una subescena de la imagen de satélite del área. Estas fuentes de datos y los procedimientos de remuestreo geométrico mediante funciones polinomiales de tipo lineal, cuadrático y cúbico y con un método de remuestreo por el vecino más cercano, permitió obtener un error de localización (cuadrado medio del error) menor a 0.3 de la resolución píxel del satélite, lo cual se consideró suficiente para integrar los elementos clave y obtener como producto un plano digital con la orientación correcta y bajo un sistema de coordenadas confiable.

A las parcelas bajo muestreo mayores a tres hectáreas se les tomaron datos de ubicación, condición y producción, lo cual representó el 10% de las parcelas establecidas. La aplicación del análisis multivariado mediante técnicas de ACP ayudó a generar varios componentes, a partir de los cuales se detectaron diferencias entre los cultivos. Este proceso facilitó el registro de los datos necesarios para establecer la identificación en la imagen del satélite y coleccionar los ND's de la firma espectral de cada cultivo. La Figura 2 resume las actividades de la metodología empleada en este estu-

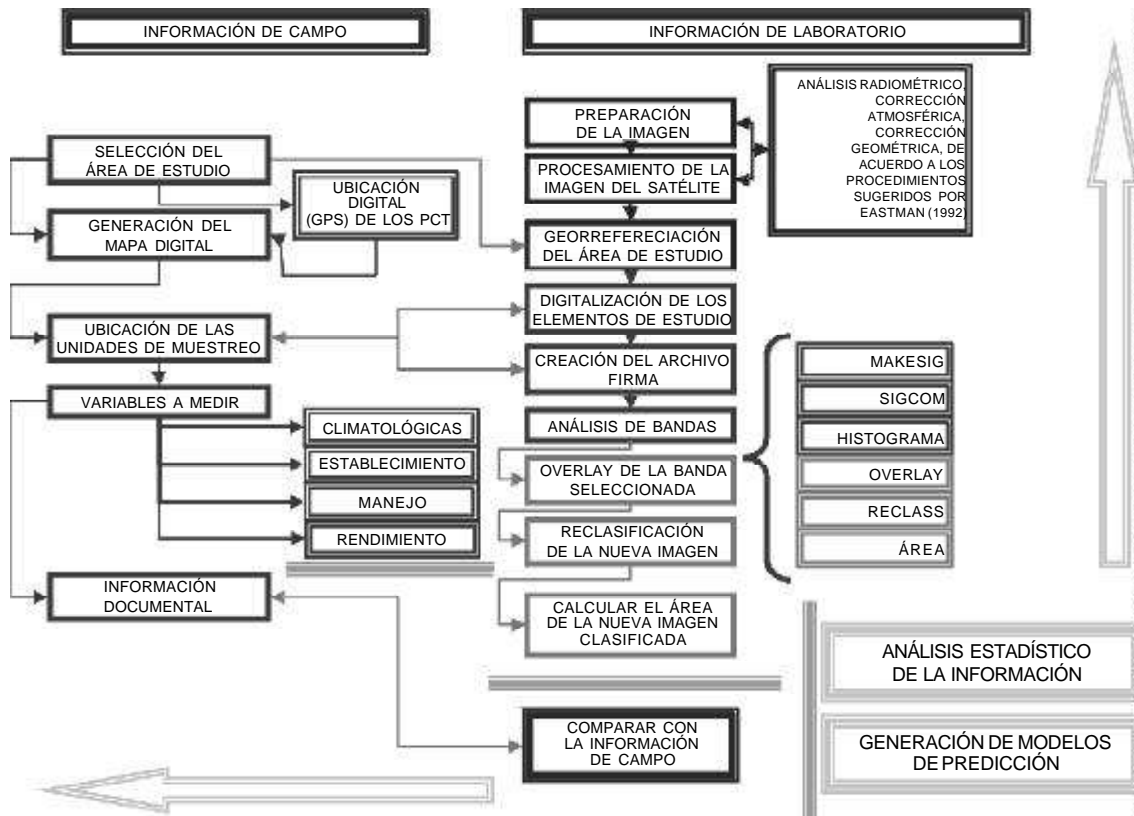


Figura 2. Esquema metodológico.

dio, que comprende el trabajo de campo y laboratorio para finalmente integrar la información de cada módulo y obtener los resultados finales del experimento.

Para el mapeo de los usos del suelo y/o tipos de cubierta se utilizó el método de clasificación supervisada, aplicando la técnica de máxima probabilidad gaussiana conforme a los procedimientos sugeridos por Greenle (1993). La evaluación de la precisión del plano y de los mapas se realizó mediante la estimación del porcentaje de píxeles de entrenamiento correctamente clasificados.

Resultados y discusión

El análisis de las bandas de Landsat TM mostraron su capacidad para definir la separabilidad espectral de los cinco cultivos evaluados (Figura 3).

Las bandas visibles del espectro discriminaron la mayor parte de la información

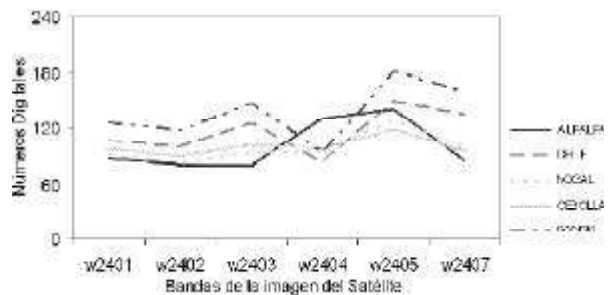


Figura 3. Separabilidad espectral de cultivos agrícolas.

espectral en un rango de 45 ND's, con valores mínimos de 80 y máximos de 125 ND's. En cambio, las bandas 5 y 7 del sector infrarrojo presentaron rangos de 120 a 180 ND's, con excepción de la banda 4, que mostró confusión para la discriminación de los cultivos, principalmente cebolla, nogal y sandía.

La Figura 4 presenta el comportamiento de las bandas en relación a los cultivos evaluados. La banda 2 muestra los niveles más bajos de ND's para los cultivos de alfalfa, nogal y cebolla, mientras que la banda 4 los presenta para chile y sandía. Al inverso, los ND's se incrementan en las bandas restantes, a partir del cual la banda 5 presenta los valores máximos de reflectancia.

Lo anterior se explica porque en el dominio del espectro del medio cercano y lejano infrarrojo (700 a 1300 μm), la reflectividad de las hojas es controlada por su estructura celular (Curran, 2005), a excepción del cultivo de cebolla, que presenta una hoja formada por el "filodio", que es la parte verde y fotosintéticamente activa de la planta con los márgenes foliares soldados, dando una apariencia de hoja hueca.

La información obtenida coincide con los resultados de separabilidad espectral para clases forestales obtenidos por Pinedo

et al. (1998), que encontraron ND's estrechos o casi similares para las bandas visibles, mientras que las máximas diferencias entre las clases se observaron en las bandas del sector cercano y mediano infrarrojo. Las diferencias atribuibles a estas bandas pueden ser debidas a la separabilidad espectral en los gradientes de humedad en vegetación y suelo.

Para mejorar el nivel de separabilidad espectral entre bandas se omitió el uso de las bandas 4 y 7, debido a que integran la información espectral en un rango estrecho de ND's. Debido a ello, para generar mapas de zonificación agrícola para el área de estudio es conveniente utilizar las bandas de Landsat TM que mostraron la mayor separabilidad espectral (B1, B2, B3 y B5), ya que ubican perfectamente y sin confusión las distintas firmas espectrales de los cultivos mostrados en la Figura 5, en donde se observa que los cultivos de chile y sandía presentan los ND's más altos en todas las bandas, mientras que los cultivos perennes (nogal y alfalfa) muestran valores inferiores a los 91 ND's. De este conjunto, la banda que discriminó mejor los cultivos fue la banda 3.

Para confirmar lo anterior, el Cuadro 1 muestra cómo en rangos medios de 80 ND's se detecta el cultivo de alfalfa, en 92

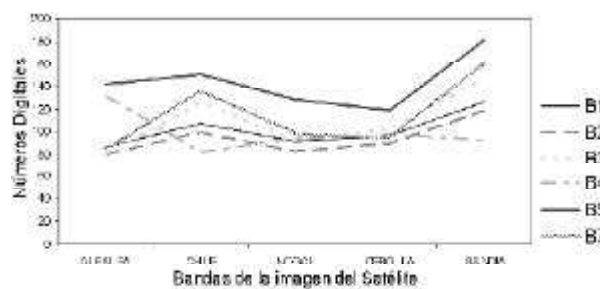


Figura 4. Comportamiento de las 6 bandas de la imagen en los cinco cultivos estudiados.

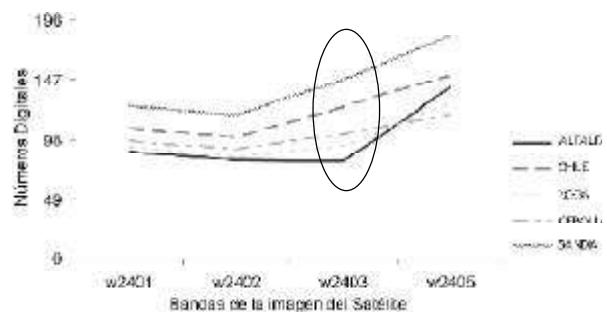


Figura 5. Separabilidad espectral de cultivos agrícolas.

Cuadro 1.
 Estadísticos descriptivos básicos de los valores de reflectancia
 de cinco cultivos en el Módulo 9 del Distrito de Riego 005 Delicias.

BANDAS	ALFALFA		CHILE		NOGAL		CEBOLLA		SANDÍA	
	MEDIA	DES-EST.	MEDIA	DES-EST.	MEDIA	DES-EST.	MEDIA	DES-EST.	MEDIA	DES-EST.
B1	87.52	11.62	107.05	11.84	91.84	8.51	97.11	13.61	126.18	13.78
B2	80.85	14.01	99.82	14.25	83.42	9.18	89.62	15.31	118.21	12.34
B3	80.01	26.81	125.35	20.88	92.65	17.67	102.31	26.12	147.51	17.41
B4	131.54	19.52	82.65	12.21	95.01	10.59	97.41	16.22	92.93	20.02
B5	141.54	27.01	150.53	17.56	128.64	16.39	118.72	25.87	182.13	22.90
B7	84.36	28.23	136.12	15.54	98.89	19.63	94.31	31.95	160.82	16.84

ND's el cultivo de nogal, 102 para la cebolla, 125 para el chile y 147 ND's para el cultivo de sandía.

Este método de siembra sugiere la facilidad para discriminar el cultivo en relación al resto de los analizados.

Finalmente, el análisis espectral de los cultivos analizados muestra cómo los cultivos de chile y sandía presentan valores entre 20 y 30 ND's más bajos. Lo anterior permite realizar clasificaciones exitosas utilizando varias mezclas entre las bandas del satélite.

Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de imágenes Landsat TM mostró su utilidad para el monitoreo y manejo de áreas agrícolas debido a su capacidad para diferenciar cultivos agrícolas mediante técnicas de separabilidad espectral. De las bandas analizadas en este estudio, la banda 3 mostró mayor capacidad para separar las firmas espectrales en comparación al resto de las bandas. No obstante su capacidad para discriminar niveles de biomasa, la banda 4 mostró confu-

sión para diferenciar los cultivos, principalmente cebolla, nogal y sandía. Los problemas de pixeles mezclados, debido a la baja resolución espacial de Landsat TM, se mejoran con las técnicas de separabilidad espectral como las utilizadas en este estudio. Estas técnicas también mejoran la selección de imágenes para obtener modelos que permitan predecir el potencial de producción de las cosechas. La utilización de procedimientos de remuestreo geométrico permite obtener cartografía digital con buen nivel de precisión para fomentar la organización y el acceso a información que contribuye al ordenamiento parcelario agrícola, diseño de sistemas de riego de mayor funcionalidad, selección de las mejores superficies agrícolas y otras vocaciones propias del suelo.

Literatura citada

- ALEXANDRE, M., J. Demattê., D. M. Feitosa., A. C. Vasconcelos and G. A. Marques. 2005. Satellite images on the discrimination of soils developed from basalt and sandstone of Paraguaçu Paulista region. Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Dep. de Solos e Nutrição de Plantas. *Pesq. Agropec. Bras.* 40:135-142.
- CONAGUA, 2002. Reporte mensual de almacenamiento de presas. Gerencia Estatal Chihuahua. Subgerencia Técnica. Chihuahua, Chih. México.

- CURRAN, P. J. 2005. Principles of Remote Sensing. Longman Scientific & Technical, Fifth Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. USA.
- EASTMAN, J.R. 1992. User's guide IDRISI. Version 4.0. Clark University Graduate School of Geography. Worcester, Massachusetts, USA.
- GREENLEE, C.J. 1993. Spatial characteristics of montane forest communities in the Organ Mountains, New Mexico, using remote sensing and GIS technology. Thesis Master of Applied Geography, New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico. USA.
- HENRIQUEZ, C. R. Killorn, F. Bertsch y F. Sancho. La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la fertilidad del suelo mediante el uso del interpolador Kriging. *Agronomía Costarricense* 29: 73-81.
- HOLMSTROM, K. E., M. G. Hughes, S. D. Walker, W. L. Kline and J. Ingerson-Mahar. 2001. Spatial Mapping of Adult Corn Earworm and European Corn Borer Populations in New Jersey. *Hort Technology*. 11:103-109.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 1999. Anuario de estadísticos por entidad federativa. México.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS. 2003. Análisis del sector Agropecuario en la Región Centro-Sur del Estado de Chihuahua. Publicación especial No. 10.
- JOHNSON, D. L. 1989. Spatial Autocorrelation, Spatial Modeling, and Improvements in Grasshopper Survey Methodology. *The Canadian Entomologist*. 121: 579-588.
- MAC-RAE, I. V. 1998. MIP Específico para el Sitio. Norwest Experiment Station & Agricultural Management Division. Universidad de Minnesota, Crookston.
- MORAN, M. S., D. C. Hymer; J. Qi and Y. Kerr. 2002. Comparison of ERS-2 SAR AND Landsat TM imagery for Monitoring Agricultural Crop and Soil Conditions. *Remote Sensing of Environment*. 9:243-252.
- NIEUWENHUIS, G. J. A. y C. A. Mucher. 1998. Satellite Remote Sensing and Crop Growth Monitoring. Future trains *In: Remote Sensing, Gudmandsen (ed) Rotterdam*. pp. 251-261.
- PAZ, P. F., V. E. Palacios, S. E. Mejía, M. M. Martínez y S. L. A. Palacios. 2005. Análisis de los Espacios Espectrales de la Reflectividad del Follaje de los Cultivos. *Hidrociencias. Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. Agrociencia* 39:293-301. 2005.
- PINEDO, A. C., F. J. R. Mendoza, M. A. Pérez, G.H. González, M.R.M. Quintana, y C.J.A. Jiménez. 1998. Evaluación de imágenes Landsat-TM para inventariar y clasificar clases de condición forestal en bosques de Chihuahua. Jornadas para la Convención Internacional de la Lucha contra la Desertificación y Simposium Sobre Recursos Forestales no Maderables. 11-13 junio. Ensenada, Baja California, México.
- RAUPENSTRAUCH, J. D. y T. M. Selige. 1998. Detection of Crop Rotation Using Satellite Remote Sensing for Nutrient Balance Models and Risk Assessment. *Future Trends In : Remote Sensing, Gudmandsen (ed) Rotterdam*. pp 139-143.
- SENAY, G. B., J. G. Lyon, A. D. Wuard y S. E. Nokes. 2000. Using High Spatial Resolution Multispectral Data to Classify Corn And Soybean Crops. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 66:319-327.
- SETTER, D. R., W. B. Cohen, M. Berterretche, T. H. Maierperger y R. E. Kennedy. 2000. Land Cover Mapping in Agricultural Setting Using Multiseasonal Thematic Mapper Data. *Remote Sensing of Environment*. pp 139-155.
- SUN, J. 2000. Dynamic Monitoring and Yield Estimation of Crops by Mainly Using the Remote Sensing Technique in China. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. pp 645-650.

Este artículo es citado así:

MANJARREZ-DOMÍNGUEZ, C., C. P. Pinedo-Álvarez, C. E. Vélez-Sánchez y A. Pinedo-Alvarez. 2007. Separabilidad espectral de cultivos agrícolas con imágenes Landsat TM. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 1(2): 48-56.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

CARLOS MANJARREZ DOMÍNGUEZ. En el año 2001 egresó de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (Antes Fruticultura) de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), obteniendo titulación automática por buen desempeño académico. En el 2004 obtuvo su grado de Maestría en Ciencias especialidad en Manejo de Recursos Naturales por la Facultad de Zootecnia (UACH). Posteriormente realizó estudios de doctorado en la misma Facultad de Zootecnia; actualmente trabaja en su disertación doctoral sobre el tema de monitoreo y evaluación de recursos naturales, a través de la clasificación de cultivos agrícolas mediante el uso de la tecnología SIG. En el periodo del 2001-2003 colaboró en el Laboratorio de Geomática del Departamento de Recursos Naturales, coordinando proyectos de servicios y estudios de impacto ambiental. Desde hace varios años labora en Fundación Produce Chihuahua A. C., como Jefe del Área Técnica, donde realiza actividades de evaluación y seguimiento de proyectos de investigación. Es profesor de tiempo parcial de la Universidad Autónoma de Chihuahua e imparte clases en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, así como en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.

CARMELO PINEDO ÁLVAREZ. Terminó su licenciatura en 1978, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de posgrado en la Facultad de Contaduría y Administración (UACH), obteniendo en 1986 el grado de Maestro en Manejo de Recursos Humanos. En el año de 1998 finalizó su programa doctoral en la Facultad de Zootecnia (UACH), otorgándosele el grado de Doctor in Philosophy con especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Desde 1999 labora en la UACH y posee la categoría de Académico Titular C. Es autor y coautor de numerosos artículos publicados en revistas indexadas nacionales e internacionales. Ha participado como ponente en numerosos congresos científicos y como evaluador de proyectos de investigación y programas educativos. Como profesor, ha dirigido numerosas tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Durante su vida profesional ha sido distinguido con diversos reconocimientos por su productiva labor científica, siendo sus principales áreas de especialización el monitoreo de recursos naturales y sistema de información geográfica.

ALFREDO PINEDO ÁLVAREZ. En 2002 obtuvo el título de Ingeniero en Ecología, por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de maestría en la Facultad de Zootecnia (UACH), otorgándosele en 2004 el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Naturales. El M. C. Pinedo está finalizando su programa doctoral y próximamente defenderá su disertación para obtener el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Recursos Naturales, por la Facultad de Zootecnia (UACH). Durante los últimos años ha trabajado en diversos proyectos de investigación relacionados con la modelación de atributos forestales utilizando tecnología satelital; también ha sido asesor de tesis de licenciatura y su producción académica incluye 14 resúmenes y 8 artículos en extenso publicados en memorias de congresos científicos.

CRISTINA ELIZABETH VÉLEZ SÁNCHEZ VERÍN. En 1983 obtuvo el título de Ingeniero Químico Bromatólogo, por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de doctorado, otorgándosele en 1990 el grado de Doctor en Ciencias Biológicas, por la Universidad Autónoma de Madrid, España. Durante el 2001 obtuvo su post doctorado con especialidad en Ciencias Ambientales, en el Centro de Investigaciones de Materiales Avanzados (CIMAV); durante ese período trabajó sobre el aprovechamiento de residuos aplicando procesos químicos y biológicos. La Dra. Vélez ha dirigido tesis de licenciatura y posgrado y publicado 20 artículos en revistas arbitradas internacionales; además, su producción académica incluye 18 resúmenes y 30 artículos en extenso publicados en memorias de congresos científicos, sobre toxicología y farmacología de especies aviares. La Dra. Vélez es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (S.N.I.) y profesora de tiempo completo de la Facultad de Zootecnia (UACH), y sus proyectos de investigación están enfocados al monitoreo y evaluación de recursos naturales, entre los que destaca el desarrollo del proyecto "Diseños de planes de gestión para los residuos pecuarios y tecnologías de aprovechamiento para la producción de combustibles alternos (biogas) y fertilizantes sólidos".

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 *TECNOCENCIA 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 *TECNOCENCIA 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.

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

- Texto (capítulos y su orden).
- Agradecimientos.
- Literatura citada.
- 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-Cuauhtémoc. 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 como 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

- STEELE, 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

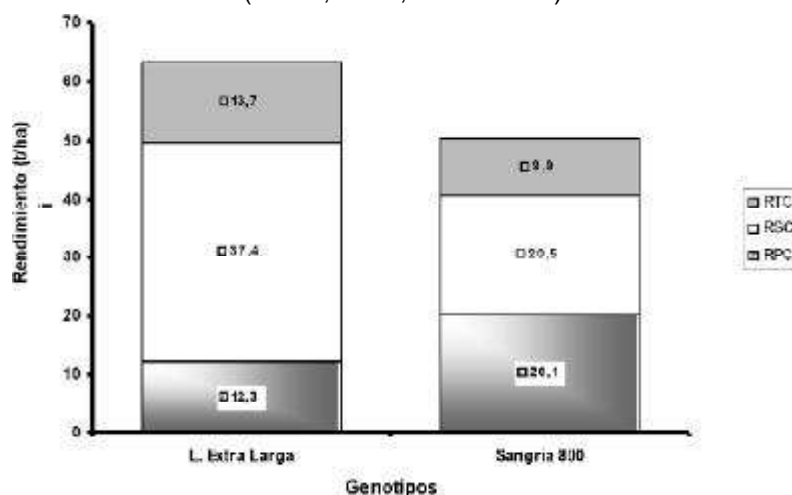
En las figuras no se debe duplicar la información presentada en los cuadros o viceversa. Se recomienda el uso de medidas de acuerdo al Sistema Métrico Decimal y las abreviaturas utilizadas deberán apearse a las recomendaciones que aparecen en la tabla que se anexa al presente documento.

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*.

TECNOCIENCIA Chihuahua

Relación de árbitros participantes en este fascículo

DR. ALFREDO GRANADOS OLIVAS

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

DR. AGUSTIN RASCÓN CHU

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

DR. DAVID R. SEPÚLVEDA AHUMADA

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

DR. EDUARDO ARIAS MARÍN

Centro de Investigación en Química Aplicada, México

DR. EMILIO ÁLVAREZ PARRILLA

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

DRA. ANGELA BEESLEY

University of Manchester, Reino Unido

DR. HUGO VILHIS

New Mexico State University, Estados Unidos de Norteamérica

DRA. LETICIA MYRIAM TORRES GUERRA

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

DR. TONATIUH NÁJERA RUIZ

Instituto Tecnológico de Monterrey, México

DR. HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

DR. CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ PÉREZ

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

DR. ELHADI YAHIA-KAZUZ

Universidad Autónoma de Querétaro, México

DR. EDUARDO RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL GUERRERO

Universidad Nacional Autónoma de México, México

DR. GUILLERMO FUENTES-DÁVILA

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

DR. LUIS FERNANDO PLENGE TELLICHEA

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

DRA. MÉLIDA GUTIÉRREZ

Missouri State University, Estados Unidos de Norteamérica

DR. RUBÉN A. SAUCEDO TERÁN

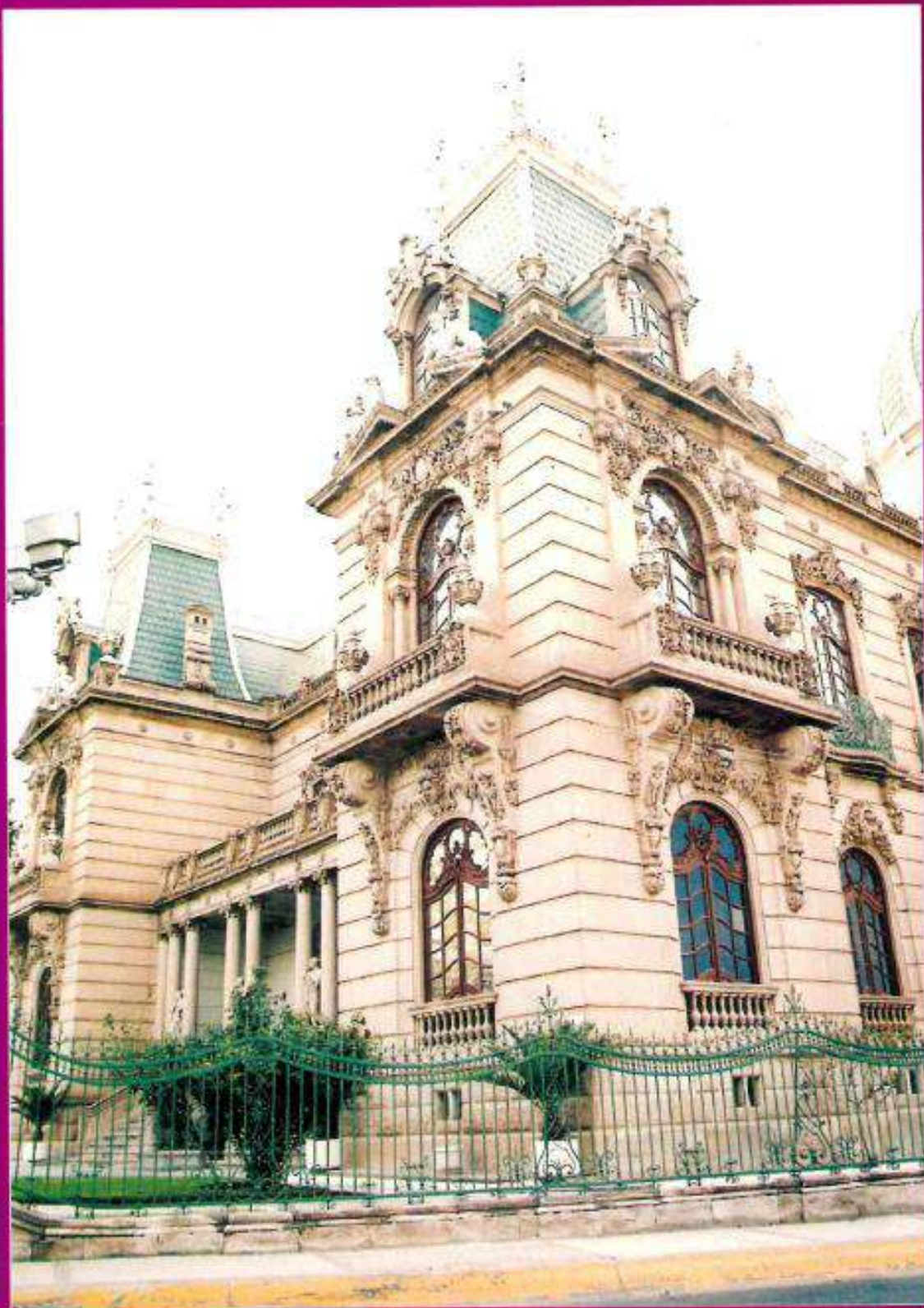
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

DR. ERASMO ORRANTIA BORUNDA

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, A. C., México

DR. EDUARDO J. TRIVIÑO GARZA

Universidad Autónoma de Nuevo León, México



Centro Cultural Universitario "Quinta Gameros"

Esta obra fue proyectada y construida por el arquitecto de origen colombiano don Julio Carrador Lacort, por encargo de don Manuel Gameros. Su construcción finalizó en noviembre de 1910.

