

# TECNOCIENCIA Chihuahua

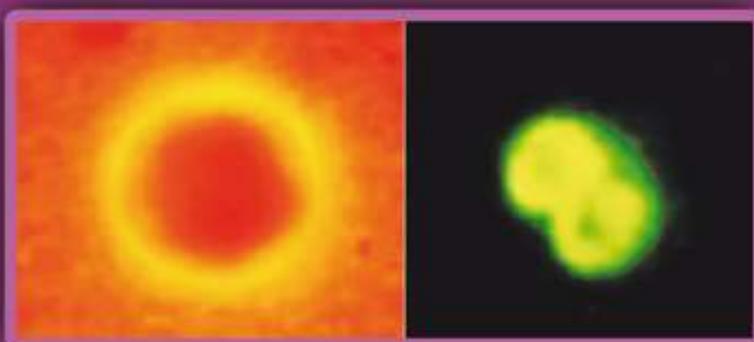
Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades  
Universidad Autónoma de Chihuahua



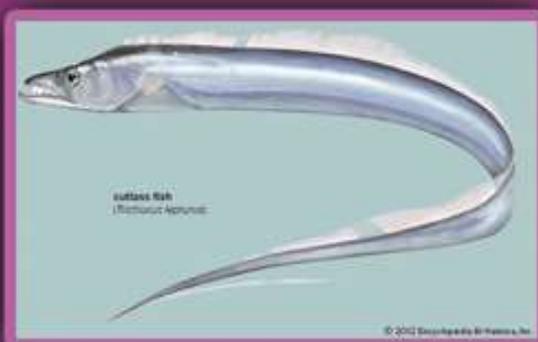
Chihuahua, Tierra de Cristales  
2014, Año Internacional de la Cristalografía



Principales virus que afectan al cultivo de papa  
y metodologías para su identificación y caracterización



Inactivación de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia lamblia* sp. en agua  
mediante luz UV de bajo voltaje con un concentrador solar casero



La pesca artesanal del tahali (*Trichiurus lepturus*)  
en Boca del Río, isla de Margarita, Venezuela



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
**CHIHUAHUA**

M.C. JESÚS ENRIQUE SEÁÑEZ SÁENZ  
*Rector*

M.D. SAÚL ARNULFO MARTÍNEZ CAMPOS  
*Secretario General*

LIC. SERGIO REAZA ESCÁRCEGA  
*Director de Extensión y Difusión Cultural*

DR. ROSENDO MARIO MALDONADO ESTRADA  
*Director de Planeación y Desarrollo Institucional*

DR. ALEJANDRO CHÁVEZ GUERRERO  
*Director Académico*

M.C. JAVIER MARTÍNEZ NEVÁREZ  
*Director de Investigación y Posgrado*

M.A.R.H. HORACIO JURADO MEDINA  
*Director Administrativo*

**TECNOCIENCIA**  
*Chihuahua*

**Comité Editorial Interno**

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA  
*Editor en Jefe*

M.S.I. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA  
*Coordinador editorial*

M.E.S. NANCY KARINA VENEGAS HERNÁNDEZ  
*Asistente editorial - Abstracts*

**Editores Asociados**

DRA. ALMA DELIA ALARCÓN ROJO  
DRA. ANA CECILIA GONZÁLEZ FRANCO  
DR. OSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES OLIVAS

DR. CARMELO PINEDO ÁLVAREZ  
DR. JAVIER TARANGO ORTIZ

DRA. LUZ HELENA SANÍN AGUIRRE  
DRA. MARÍA DE LOURDES VILLALBA

**Consejo Editorial Internacional**

DR. GUILLERMO FUENTES DÁVILA  
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México*

DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ  
*Colegio de Posgraduados, México*

DR. JOHN G. MEXAL  
*New Mexico State University, Estados Unidos de América*

DR. ULISES DE JESÚS GALLARDO PÉREZ  
*Instituto de Angiología y Cirugía Vascular, La Habana, Cuba*

DR. HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ  
*Universidad Autónoma de Nuevo León, México*

DRA. ELIZABETH CARVAJAL MILLÁN  
*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México*

DR. ALBERTO J. SÁNCHEZ MARTÍNEZ  
*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México*

DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ  
*Instituto Politécnico Nacional, México*

DR. LUIS FERNANDO PLENGE TELLECHEA  
*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México*

DR. HÉCTOR OSBALDO RUBIO ARIAS  
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México*

DRA. ANGELA BEESLEY  
*University of Manchester, Reino Unido*

DR. LUIS ALBERTO MONTERO CABRERA  
*Universidad de La Habana, Cuba*

DR. RICARD GARCÍA VALLS  
*Universitat Rovira I Virgili, España*

DR. LUIZ CLOVIS BELARMINO  
*Faculdade Atlantico Sul, Brasil*

TECNOCIENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen VIII, Número 3, Septiembre-Diciembre 2014. Publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Editor en Jefe: Dr. César Humberto Rivera Figueroa. ISSN: 1870-6606. Número de Reserva al Título en Derecho de Autor: 04-2007-0326610180900-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13868. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11441. Clave de registro postal PP08-0010. Domicilio de la publicación: Edificio de la Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria s/n, Campus Universitario I, C.P. 31170, Chihuahua, Chihuahua, México. Oficina responsable de la circulación: Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria, Campus Universitario I, C.P. 31170. Imprenta: Impresora Standar, Ernesto Talavera No. 1207, Teléfono 416-7845, Chihuahua, Chih. Tiraje: 1,000 ejemplares.

Precio por ejemplar en Chihuahua: \$ 60.00 Costo de la suscripción anual: México, \$ 200 (pesos); EUA y América Latina, \$ 35 (dólares); Europa y otros continentes, \$ 40 (dólares). La responsabilidad del contenido de los artículos firmados es de sus autores y colaboradores. Puede reproducirse total o parcialmente cada artículo citando la fuente y cuando no sea con fines de lucro.

Teléfono: (614) 439-1500 (extensión 2214); fax: (614) 439-1500 (extensión 2209), e-mail: tecnociencia.chihuahua@uach.mx

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

## Contenido

Definición de la revista I

Editorial II

### El científico frente a la sociedad

Chihuahua, Tierra de Cristales  
2014, Año Internacional de la Cristalografía

*María Elena Montero-Cabrera*  
*Luis E. Fuentes-Cobas*  
*María Elena Fuentes-Montero*

131

### Alimentos

Principales virus que afectan al cultivo de papa  
y metodologías para su identificación y  
caracterización

*González- Franco Ana Cecilia*  
*Rodríguez-Rodríguez Mariana*  
*Robles-Hernández Loreto*

142

Caracterización fisicoquímica, reológica y  
funcional de harina de avena (*Avena sativa* L.  
cv Bachíniva) cultivada en la región de  
Cauhtémoc, Chihuahua

*Fernando Félix Flores-Peña*  
*Flavia Yadira Lozano-Quezada*  
*Arturo Ramos-Martínez*  
*René Salgado-Delgado*  
*Víctor Manuel Guerrero-Prieto*  
*Salvador Ramírez Mancinas*  
*Luis Arturo Bello-Pérez*  
*Paul Baruk Zamudio Flores*

152

### Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable

Interacción de bioproductos como alternativas  
para la producción horticultura cubana

*Elein Terry-Alfonso*  
*Josefa Ruiz-Padrón*  
*Tamara Tejeda-Peraza*  
*Inés Reynaldo-Escobar*  
*Yudines Carrillo-Sosa*  
*Hugo Morales-Morales*

163

La pesca artesanal del tahalí (*Trichiurus lepturus*)  
en Boca del Río, isla de Margarita, Venezuela

*Francisco Guevara*  
*Nora Eslava*  
*Leo Walter González*  
*Luis Troccoli*

175

Inactivación de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia*  
*lamblia* sp. en agua mediante luz UV de bajo  
voltaje con un concentrador solar casero

*María Elena Torres-Olave*  
*Luz Helena-Sanín-Aguirre*  
*María Teresa Alarcón-Herrera*

183

## Definición de la Revista *TECNOCENCIA Chihuahua*

TECNOCENCIA Chihuahua es una publicación científica arbitrada de la Universidad Autónoma de Chihuahua, fundada en el año 2007 y editada de forma cuatrimestral. Está incluida en los siguientes índices y directorios:

- LATINDEX, Catálogo de revistas científicas de México e Iberoamérica que cumplen con criterios internacionales de calidad editorial.
- PERIODICA, la base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.
- CLASE, la base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencias sociales y humanidades

### 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.

La revista *TECNOCENCIA Chihuahua* se publica cuatrimestralmente para divulgar los resultados de la investigación en forma de avances científicos, desa-

rollo tecnológico e información sobre nuevos productos y patentes. La publicación cubre las siguientes áreas temáticas: Alimentos, Salud y Deporte, Ingeniería y Tecnología, Educación y Humanidades, Economía y Administración, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Creatividad y Desarrollo Tecnológico.

### Visión

Mejorar de manera continua la calidad del arbitraje de los artículos publicados en la revista, proceso que se realiza en forma anónima 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.

### Tipos de escritos científicos

En la revista se publican las siguientes clases de escritos originales: artículos científicos en extenso, notas científicas, ensayos científicos y artículos de revisión.

### A quién se dirige

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

# Editorial

Desde la descripción de las estructuras cristalinas, presentes en numerosos materiales importantes para el ser humano, hasta su aplicación en el desarrollo moderno de la nanotecnología, los autores del artículo "*Chihuahua, Tierra de Cristales. 2014, Año Internacional de la Cristalografía*", nos conducen por el fascinante mundo de la cristalografía, su evolución y desarrollo histórico, la cual, junto con la mecánica cuántica, ha conducido a la tecnología moderna de la computación y las comunicaciones, pasando por el desarrollo del transistor como precursor de los modernos microprocesadores y aplicación de la ferroelectricidad y la superconductividad.

El objetivo del artículo "*Principales virus que afectan al cultivo de papa y metodologías para su identificación y caracterización*" fue describir los principales virus que afectan al cultivo de este tubérculo, así como de las técnicas utilizadas actualmente para su detección e identificación. Algunos de los virus que más afectan a este cultivo en el mundo son PLRV, PVY y PVX, los cuales también pueden producir infecciones mixtas que ocasionan pérdidas en rendimiento y calidad. Se espera que este manuscrito sirva como una guía para el personal que se encuentra involucrado en el diagnóstico y control de los principales virus fitopatógenos del cultivo de la importante cultivo.

Se incluye también en la sección de alimentos el artículo "*Caracterización fisicoquímica, reológica y funcional de harina de avena (Avena sativa L. cv Bachíniva) cultivada en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua*" en el cual se describe el análisis fisicoquímico al cual se sometió a este cereal, de gran importancia económica para los pobladores de esta región. Los investigadores concluyen que por sus características fisicoquímicas, reológicas y funcionales, esta harina puede ser empleada en la industria alimentaria para la producción de pudines y formulaciones infantiles.

También, los autores del artículo "*Interacción de bioproductos como alternativas para la producción horticultura cubana*" presentan una interesante propuesta para incrementar la productividad agrícola y disminuir los efectos negativos sobre el medio ambiente de los agroinsumos sintéticos. Se estudiaron seis bioproductos, dos biofertilizantes y cuatro bioestimulantes, encontrando que el extracto de

vermicompost acelera el proceso de germinación de las semillas, y tuvo un efecto aditivo de los bioproductos, con un incremento del rendimiento en un 20% en lechuga, 30% en habichuela y 50% en tomate.

El pez denominado tahalí representa una gran relevancia socio-económica en la comunidad de la isla de Margarita, en Venezuela. El estudio del cual se deriva el artículo "*La pesca artesanal del tahalí (Trichiurus lepturus) en Boca del Río, isla de Margarita, Venezuela*" se planteó para estimar la captura por unidad de esfuerzo mensual y su asociación con la temperatura superficial del mar, velocidad del viento y precipitación durante cuatro años. Los resultados sugieren que la abundancia relativa estaría regulada fundamentalmente por los factores ambientales del ecosistema pelágico costero, al observar una asociación positiva entre la abundancia relativa del pez y la temperatura superficial del mar, y negativa con la velocidad del viento.

Finalmente, presentamos un estudio cuyo objetivo fue determinar el tiempo de exposición requerido a luz UV de bajo voltaje producida por un concentrador doméstico solar para inactivar quistes y oocistos de *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium*. Los investigadores expusieron a radiación ultravioleta con una lámpara de intensidad media (45 W) a muestras embotelladas de agua contaminada. Los oocistos viables desaparecieron a partir de las ocho horas de exposición. Los autores sugieren este sistema por su fácil aplicación, bajo costo y efectividad, que ayudaría a la disminución de la alta tasa de enfermedades gastrointestinales hidrotansmisibles que aquejan a las personas más marginadas de nuestro país.

M.S.I. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA  
COORDINADOR EDITORIAL

# Chihuahua, Tierra de Cristales 2014, Año Internacional de la Cristalografía

## Chihuahua, Land of Crystals 2014, International Year of Crystallography

MARÍA ELENA MONTERO-CABRERA<sup>1</sup>, LUIS E. FUENTES-COBAS<sup>1</sup>, MARÍA ELENA FUENTES-MONTERO<sup>2,3</sup>

### Resumen

Se presenta la definición de cristal, su diferencia respecto del vidrio, y la historia del descubrimiento de la difracción de rayos X, cuyo centenario ha motivado la declaración del año 2014 como Año Internacional de la Cristalografía. Se muestran los experimentos de Max von Laue, así como de William H. y William L. Bragg y se explican mediante la analogía con la difracción de la luz visible. Se exhiben las estructuras cristalinas de numerosos materiales importantes para el ser humano, su evolución y su desarrollo. Se exponen qué son los monocristales y los policristales, así como las diferentes estructuras cristalinas del carbono. Se explica cómo el progreso de la cristalografía, junto con la mecánica cuántica, han conducido a la tecnología moderna de la computación y las comunicaciones, comenzando desde el diodo semiconductor y el transistor hasta los modernos microprocesadores. Se describen la ferroelectricidad y la superconductividad y sus aplicaciones. Por último, se divulgan ejemplos del desarrollo moderno de la nanotecnología. Se explica cómo un monocristal nace y crece a partir de un nanocristal, para terminar con la demostración de que Chihuahua es Tierra de Cristales por la presencia de la Cueva de los Cristales Gigantes en Naica.

**Palabras clave:** Naica, cristalografía, estructura cristalina, selenita.

### Abstract

It is presented the definition of a crystal, the differences with glass, and the history of the discovery of the X-ray diffraction, whose centenary has led to the declaration of 2014 as the International Year of Crystallography. The experiments of Max von Laue, as well as of William H. and William L. Bragg are described and explained using an analogy with the diffraction of visible light. The crystal structures of several important materials for human kind, their evolution and development are exhibited. The questions of what are single crystals and what are polycrystals are answered, as well as the different crystal structures of carbon atoms can form. The process of how Crystallography, along with quantum mechanics have led to the modern technology of computing and communications is detailed starting from semiconductor diodes and transistors up to the advent of modern microprocessors. The ferroelectric and superconductor materials are described, and their applications. Finally, examples of modern development due to nanotechnology are disclosed. The explanation of how a single crystal is born and grows from a nanocrystal is provided, finishing with the demonstration that Chihuahua is a land of crystals because of the presence of the Giant Crystals Cave at Naica.

**Keywords:** Naica, crystallography, crystal structure, selenite.

### Introducción

Un chihuahuense visita el Museo Smithsonian de Historia Natural de Washington DC y se enorgullece de encontrar en la exposición un objeto que proviene de Chihuahua. ¿Qué objeto es éste? Una muestra de cristales gigantes de yeso (Figura 1, izquierda). Pero eso no es lo único que le asombra. Aparece expuesto un fragmento muy grande de un meteorito (Figura 1, derecha). ¿Dónde cayó este objeto? En el Valle de Allende, Chihuahua, en febrero de 1969.

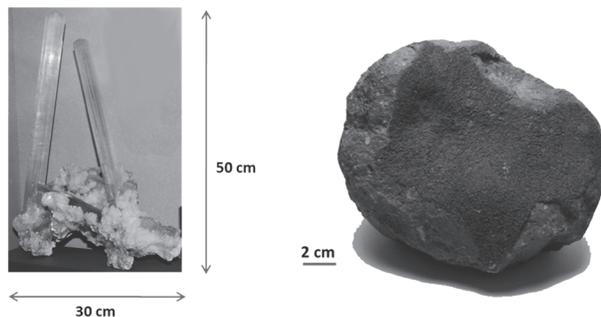
<sup>1</sup> Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua, Chih. México, C.P. 31109, Tel. 52(614) 439-1100.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas, Campus Universitario II, Apdo. Postal 1542-C. Tel. (614) 236-6000. Chihuahua, Chih., México

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: mfuentes@uach.mx.

El "Meteorito Allende" es el más estudiado en la historia y es del tipo "condrito carbonáceo", formado mayoritariamente por silicatos, óxidos y sulfatos. También contiene agua y compuestos orgánicos. A la vista del chihuahuense, estos objetos son parte de la rica historia minera del estado de Chihuahua. En la historia de México, hasta el día de hoy, las minas de Chihuahua han sido importantes en la producción de plata y oro. Actualmente lo son también en plomo y zinc.

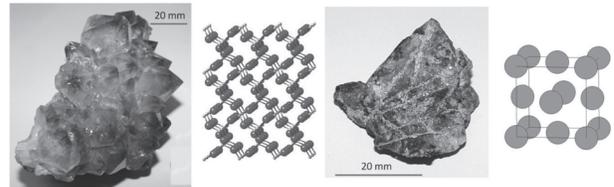
**Figura 1.** Izquierda: imagen de una muestra de cristales gigantes de yeso, extraída de la Cueva de las Espadas, en Naica, Chihuahua (Museo Smithsonian de Historia Natural, Washington, Estados Unidos). Derecha: imagen de un fragmento del Meteorito de Allende, que cayó en 1969 en Chihuahua (Raab, 2005).



En el lenguaje común del párrafo anterior hemos hablado de minerales, cristales, vidrios... Pero... el cristal y el vidrio ¿no son equivalentes? Bueno, el caso es que *el cristal y el vidrio no son lo mismo*.

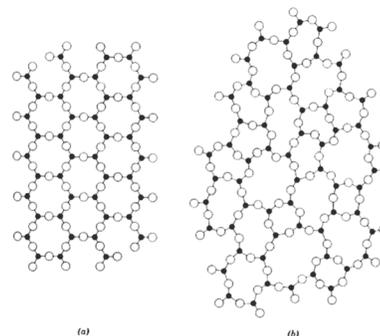
Para la física, la química y la ciencia en general, un *cristal es un arreglo o estructura periódica de átomos*, iones o moléculas, generalmente en las tres dimensiones espaciales. La palabra *cristal* tiene su origen en la palabra griega *κρύσταλλος* (crystallos), que es la variedad de cuarzo que conocemos como cristal de roca (Figura 2). Los elementos que componen las estructuras cristalinas se repiten cuando se observan a lo largo de una dirección o se realiza alguna rotación (Figura 2). Cuando los cristales se pueden identificar por separado a simple vista o con una lupa se les llama *monocristales*. Los materiales cristalinos más abundantes en nuestro entorno son *policristales*, es decir, uniones de cristallitos muy pequeños orientados en todas direcciones.

**Figura 2.** Izquierda: imagen de monocristales de cuarzo (cristal de roca), y estructura cristalina del alfa-cuarzo, dióxido de silicio-SiO<sub>2</sub> puro a temperatura ambiente. Derecha: muestra de roca con oro nativo policristalino y estructura cristalina del oro. Museo de Mineralogía de la Universidad Autónoma de Chihuahua.



La confusión entre las palabras *vidrio* y *cristal* se origina en Murano, Italia, donde ya en el siglo XV se producía un vidrio incoloro de gran calidad, parecido al cristal de roca, y se le llamaba *cristallo*. La estructura del vidrio es aperiódica o *amorfa* (Figura 3), aunque conserva la regularidad dentro de la unidad de SiO<sub>2</sub>.

**Figura 3.** Contraste entre el esquema bidimensional de la estructura periódica de un cristal de óxido de aluminio (alúmina, corindón, rubí, zafiro) y la estructura aperiódica o «amorfa» del óxido de aluminio amorfo. Los átomos de oxígeno se representan como círculos claros y los de aluminio como puntos negros. Obsérvese como el entorno de los «átomos» es prácticamente igual en ambas estructuras, pero el corindón es periódico, posee «orden de largo alcance», mientras que el óxido amorfo sólo posee «orden de corto alcance».



## La estructura cristalina. 2014, Año Internacional de la Cristalografía

La primera descripción registrada de la periodicidad de los elementos cristalinos la realizó un destacado científico del Renacimiento: el matemático y astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630). Kepler observó que los cristales de nieve son siempre de seis esquinas, nunca de cinco o de siete. Estas

observaciones las escribió en el tratado «El Copo de Nieve de Seis Esquinas» (Kepler, 1611). Desde el tratado de Kepler hasta la primera década del siglo XX se hicieron aportes muy importantes a la descripción del ordenamiento y la simetría en la estructura cristalina. Así, se tenían elementos indirectos para pensar que los cristales eran arreglos tridimensionales ordenados con periodicidad cercana a  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0.0000001 \text{ mm}$ . Pero los hallazgos decisivos se realizaron a partir del descubrimiento por Laue, en 1912, de la Difracción de rayos X.

Los rayos X fueron descubiertos por Roentgen en 1895. La humanidad quedó cautivada por este descubrimiento de modo que el primer Premio Nobel de Física fue para Roentgen. Nadie sabía qué eran esos rayos, por eso se les llamó *rayos «x»*.

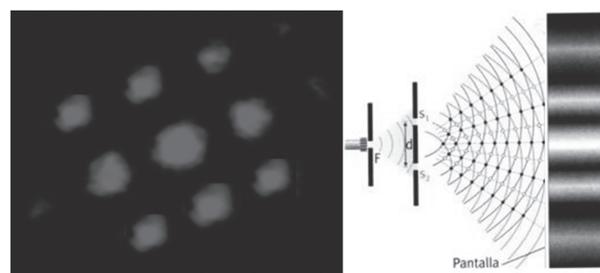
Diecisiete años después, se descubrió la difracción de rayos X, simultáneamente con la estructura electromagnética de los rayos X. El experimento de Laue fue un momento histórico para la ciencia: por primera vez en la historia, el hombre pudo ver la maravillosa arquitectura de la materia a escala atómica. El salto fue de poder observar (con los mejores microscopios de la época) objetos del orden de la centésima de milímetro a observar y medir objetos de la millonésima parte de un milímetro. Además, en ese mismo experimento, Laue y sus ayudantes descifraron el misterio de los rayos X: demostraron que se trataba de ondas electromagnéticas nanométricas (hoy día los rayos X se siguen llamando «X»), a pesar de que se les quitó el halo de misticismo que los rodeaba).

¿Con qué contó Laue para su descubrimiento? Con sus fieles asistentes Friedrich y Knipping, un generador de rayos X y un cristal de sulfato de cobre. Ellos hicieron incidir un haz de rayos X sobre su cristal, de modo que la placa fotográfica colocada detrás quedó estampada con un patrón de manchas bien definidas. ¡Obtuvieron difracción de rayos X: los rayos X eran ondas de  $1 \text{ \AA}$  y el cristal era una red periódica de átomos!

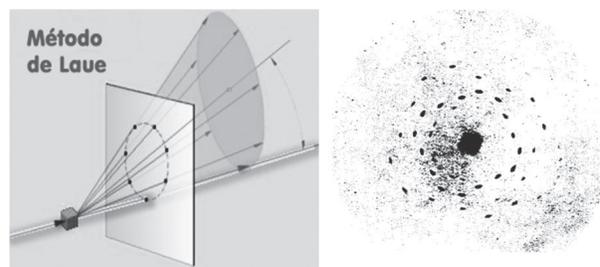
Laue comprobó que los rayos X descubiertos en 1895 tenían la misma naturaleza de la luz visible. Las ondas de luz visible, al superponerse después de atravesar una rejilla, pueden reforzar la intensidad o brillantéz en la imagen que producen en una pantalla,

o pueden anularla, produciendo franjas. Este fenómeno obedece a la naturaleza ondulatoria de la luz visible y a la periodicidad de las rendijas en la rejilla (esto es, al carácter periódico tridimensional de los cristales) (Figura 4). En 1914 Laue recibió el Premio Nobel de Física por su descubrimiento. Conmemorando el centenario de este acontecimiento, la UNESCO y la ONU declararon al actual 2014 Año Internacional de la Cristalografía.

**Figura 4.** Difracción en luz visible: un puntero láser produce un haz de luz que atraviesa un pañuelo y el haz se divide en muchos haces. A la derecha aparece el esquema simplificado del fenómeno de difracción en una red. Esquema extraído de Fisicanet, [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap11\\_luz.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap11_luz.php).



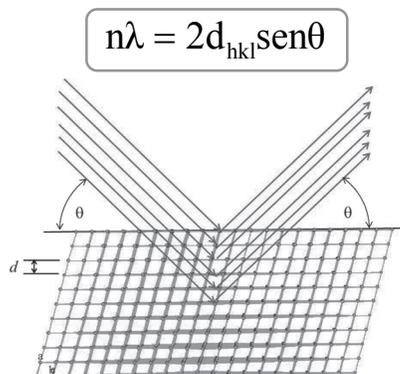
**Figura 5.** Esquema de medición y patrón de difracción de rayos X sobre un monocristal de sulfuro de cinc (Laue, 1915).



Muy poco después del descubrimiento de Laue (en 1914, hace exactamente 100 años), William H. Bragg (1862-1942) y William L. Bragg (1890-1971), padre e hijo, aplicaron la analogía (que hemos usado aquí) de la difracción de rayos X con la difracción de luz visible para explicar la difracción en cristales y descifraron las estructuras de algunos cristales importantes. Como resultado, enunciaron la famosa Ley de Bragg: los rayos X en un cristal se difractan cuando un múltiplo de la longitud de onda de los mismos se corresponde con la distancia entre los planos que forman los átomos en la estructura regular de los cristales.

El trabajo de los Bragg sobre difracción de rayos X por los cristales les hizo merecer el Premio Nobel de Física de 1915, mientras que la revolución iniciada por Laue y los Bragg llevó a la humanidad a un Siglo XX gobernado por los descubrimientos en Cristalografía.

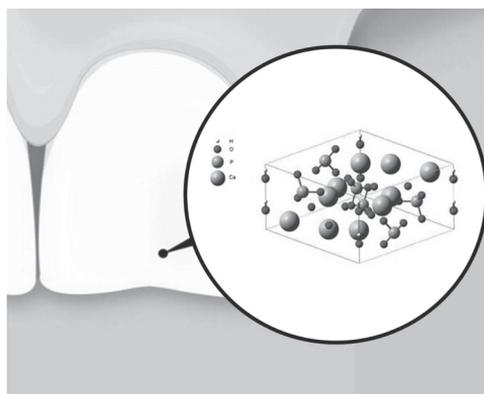
Figura 6. Ley de Bragg.



## La maravillosa estructura de los cristales

Muchos materiales de nuestro cuerpo y de nuestro entorno son cristalinos. Sus apariencias son sumamente variadas e insospechadas. La primera referencia es el cuerpo humano: los huesos y los dientes contienen el calcio y el fósforo en el compuesto cristalino *hidroxiapatita*  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ . Su estructura cristalina tiene la apariencia de la Figura 7.

Figura 7. Estructura cristalina de la hidroxiapatita de los dientes (Menendez-Proupin, 2011).



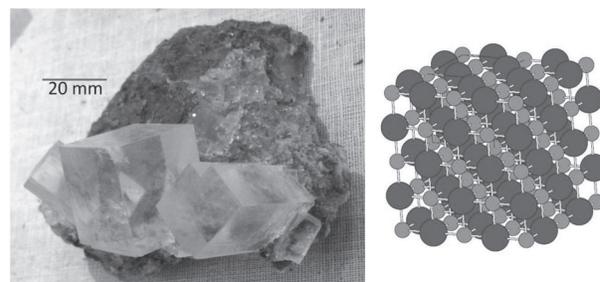
Otros materiales comunes cristalinos, con sus estructuras, son los siguientes:

Hierro (Figura 8) y sal común o cloruro de sodio (Figura 9).

Figura 8. Meteorito metálico de hierro-níquel pulido, de estructura ferrítica, con detalle microscópico que muestra líneas características de su crecimiento sin gravedad, y estructura *cúbica centrada* de la ferrita. Museo de Mineralogía de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

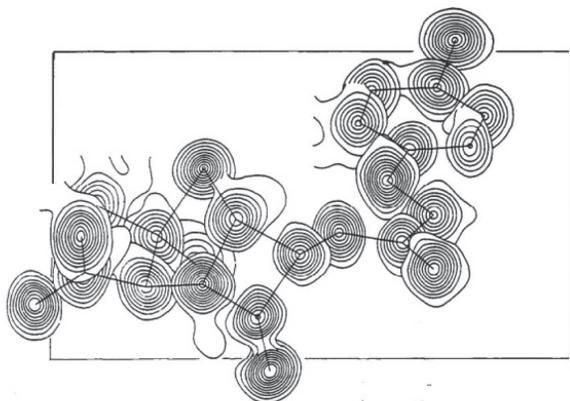


Figura 9. Cristales de halita, cloruro de sodio mineral, con su estructura cristalina tal como la determinó L.W. Bragg en 1913 (Bragg, 1913), del tipo *cúbica centrada* en las caras. La simetría de esta estructura es similar a la del oro, plomo, aluminio, níquel, plata y platino. Museo de Mineralogía y Geología de la Universidad de Harvard, EUA.



Cabe destacar que las estructuras cristalinas han permitido describir y después reproducir con calidad en la industria farmacéutica muchos medicamentos. En la era moderna se exige el conocimiento de la estructura cristalina de los fármacos para que sean aprobados por las autoridades de Salud Pública. Una pionera en este campo fue la cristalógrafa inglesa Dorothy C. Hodgkin, quien ganó el premio Nobel de Química en 1964 por sus aportes en la cristalografía de importantes fármacos modernos (Figura 10).

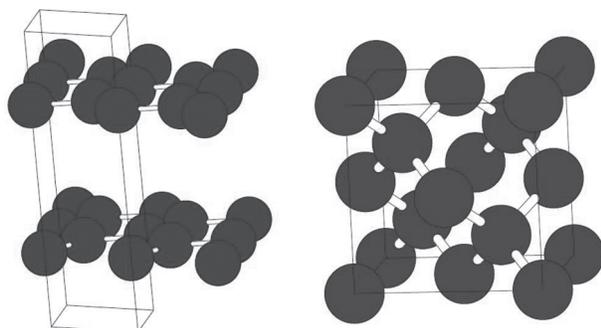
**Figura 10.** Estructura de la bromofenoximetilpenicilina, determinada y presentada por Dorothy Hodgkin (Hodgkin, 1964).



## El carbono en sus diferentes estructuras.

El carbono es un elemento químico maravilloso, que es capaz de cambiar mucho sus propiedades en dependencia de su estructura cristalina. Frecuentemente sus átomos se unen entre sí mediante *enlaces* muy fuertes, llamados *covalentes*. Algunas veces estos átomos se unen «todos con todos», con una simetría que forma tetraedros. Esta estructura tiene simetría cúbica y forma el diamante (Figura 11). Otras veces el carbono forma planos donde los átomos están enlazados fuertemente, formando hexágonos planos, pero los planos entre sí tienen un enlace débil. Este es el caso del grafito, en el cual los planos se deslizan fácilmente unos sobre otros. El carbono puro forma otras fases que veremos más adelante.

**Figura 11.** Izquierda: estructura del grafito, de simetría hexagonal; derecha: estructura del diamante, de simetría cúbica.



## La importancia de los cristales en el desarrollo del ser humano

La interacción de los antecesores del hombre moderno con los instrumentos de trabajo determinó su desarrollo y, consecuentemente, la aparición del *homo sapiens* hace 200000 años. La pre-historia comienza en la llamada Edad de Piedra, hace más de dos millones de años. Los instrumentos que desarrolló el hombre para su supervivencia comienzan con el uso de las piedras, en particular con las llamadas *sílex* y *pedernal*, que son policristales de silicio. A finales del Neolítico, ya conociendo las cerámicas, aprendió primero a dar forma a los metales y después aprendió a extraer y fundir los metales que se hallan en el ambiente, inventó la *metalurgia*.

La elaboración del hierro aparece en los alrededores del 2500 a.C. La siderurgia constituyó la etapa decisiva para el posterior desarrollo de la sociedad. Lo mismo se puede decir del perfeccionamiento de la cerámica, el concreto y otros materiales policristalinos.

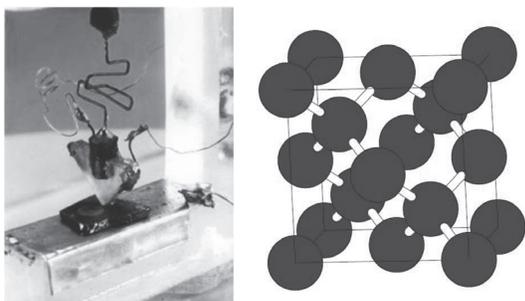
Los materiales cerámicos son materiales *policristalinos* originalmente fabricados sobre la base de silicatos (compuestos de óxido de silicio de diferentes grados de complejidad) preparados con altas temperaturas. El proceso moderno, que se realiza a altas presiones y con casi todo tipo de óxidos, se llama *sinterización*.

## La importancia de los cristales en la sociedad moderna

Vamos a saltar... ¡al siglo XX! Y del siglo XX, nos ubicamos en el entorno de la II Guerra Mundial. Al principio del siglo se descubrieron en avalancha los rayos X, la radiactividad, la estructura atómica, la difracción de rayos X, se formuló la *mecánica cuántica*, la física nuclear. Sobre los hombros de esta estructura, se estudiaron y formularon nuevas propiedades de los materiales. Se descubrió el comportamiento *semiconductor* de materiales como el silicio y el germanio puros. Ambos elementos cristalizan de manera idéntica al carbono en el diamante. Sobre la base de la cristalografía y la mecánica cuántica se propuso el modelo de los «electrones y huecos» para caracterizar la conducción

en los semiconductores. Lo que inicialmente parecía un ejercicio académico de *crecer monocristales* de germanio se convirtió en la sustitución de los llamados «diodos y triodos al vacío» por el primer *transistor* (Brattain, 1960). Shockley, Bardeen y Brattain recibieron el Premio Nobel de Física de 1956 por la invención del transistor (Figura 12).

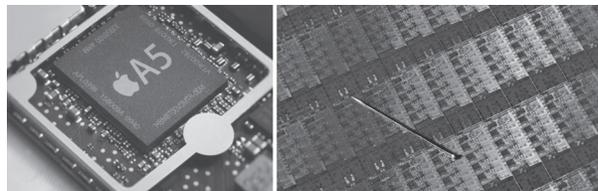
**Figura 12.** De izquierda a derecha: imagen del primer transistor de contacto (AT&T Bell Labs/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.) y estructura cristalina del germanio y el silicio.



La era del transistor y los semiconductores cambió drásticamente, al paso de pocos años, la vida cotidiana. Comenzó a invadir la electrónica moderna, primero a través de los aparatos de radio. Texas Instruments sacó el primer transistor comercial en 1954, y la aparición de los radios portátiles a transistores en los Estados Unidos la hizo la entonces desconocida firma japonesa Sony, en 1955. Después llegaron las computadoras, ya con mayor desarrollo de los circuitos llamados *integrados*, que son sobre la base de silicio y de otros semiconductores de compuestos químicos con características semejantes. La aparición de diodos luminiscentes siguió introduciendo posibilidades, que son las que han dado lugar al fax, la fotocopiadora y los escáneres. La miniaturización de los circuitos semiconductores en *láminas delgadas monocristalinas* posibilitó el desarrollo de microprocesadores, computadoras personales y teléfonos celulares. Hoy en día se están fabricando circuitos nanométricos por todas las grandes compañías de microprocesadores (Figura 13).

Las propiedades de los cristales aprovechadas en la tecnología moderna no se limitan a los semiconductores. La piezoelectricidad, ferroelectricidad, superconductividad, el supermagnetismo, son propiedades ampliamente utilizadas.

**Figura 13.** Izquierda: microprocesador Apple; derecha: oblea de microprocesadores Intel Haswell, con un alfiler para comparar el tamaño.



Una familia de materiales que tienen un enorme impacto en la tecnología y en la vida cotidiana son los ferro-piezoelectricos cerámicos. Pondremos como ejemplo el llamado PZT, o titanato-zirconato de plomo. La polarización eléctrica proporcionada por la estructura cristalina tipo *perovskita* de la cerámica PZT permite producir señales eléctricas cuando el material se comprime. Alternativamente, si el material se polariza, se produce una deformación de la pastilla. Con las propiedades piezoelectricas de la PZT se producen los generadores y detectores de ultrasonido. El ultrasonido se emplea en la geología, la pesca, el diagnóstico médico (sonografía, ultrasonido Doppler, ultrasonido terapéutico, manómetro digital de tensión arterial, etc). Con las propiedades ferroelectricas se fabrican memorias para las computadoras.

En México colaboran varios grupos en las investigaciones de ferro-piezoelectricos. Un ejemplo es la búsqueda de materiales que combinan la *ferroelectricidad con magnetismo*. Un grupo de investigadores de CIMAV y la Universidad Autónoma de Chihuahua tiene una participación destacada en este tema (Reyes, 2007). En estas *perovskitas*, por ejemplo el  $BiFeO_3$ , el átomo «central» de hierro no se encuentra exactamente en el centro del cubo y esto genera un dipolo eléctrico (Figura 14).

Hablando de cerámicas, podemos resaltar otras propiedades que se aplican en diferentes campos. Mencionaremos los ejemplos de aislamiento térmico excepcional y superconductividad de «alta temperatura», con las cerámicas llamadas *YBCO*. Los ladrillos refractarios de dióxido de silicio resisten temperaturas superiores a los 1650 °C y se les emplea como material para las paredes de los hornos para fundición del acero.

**Figura 14.** De izquierda a derecha: manómetro digital de tensión arterial, cerámicas PZT comerciales y estructura cristalina tipo perovskita de las PZT, mostrando el desplazamiento relativo de átomo central de titanio o zirconio asociado a una polarización eléctrica.



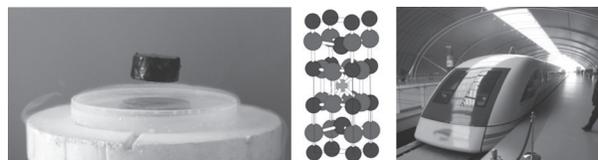
## Trenes que viajan a 430 km/h

La superconductividad es un fenómeno que amerita mención. Consiste en que a temperaturas bajas (cercas a  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o menores), hay materiales que no ofrecen resistencia al paso de la electricidad. Para mantener estas cerámicas a esas temperaturas se suele utilizar nitrógeno líquido. La temperatura del nitrógeno líquido ( $-195.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) no es considerada extremadamente baja en laboratorios de física. Para los especialistas, «extremadamente baja» es una temperatura del orden de  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  (unos pocos Kelvin). A las cerámicas YBCO se les llama «superconductores de alta temperatura».

Para muchos, es familiar advertir que un cargador de teléfono celular se calienta cuando está en uso. Eso se debe a la resistencia al paso de la electricidad que ofrecen incluso los mejores conductores (no superconductores) de la electricidad, como son el cobre y el aluminio. Los superconductores no ofrecen resistencia, y no es la única propiedad extraordinaria que tienen. Tampoco permiten la existencia de campo magnético en el interior del material (efecto Meissner). Estas extraordinarias propiedades permiten aplicaciones técnicas importantes: el uso de superconductores permite la fabricación de los tomógrafos de resonancia magnética que se emplean en medicina, pues los campos magnéticos que hay que generar son muy altos para que sean capaces de orientar a los núcleos de los átomos en los que se fundamenta la resonancia magnética. El efecto Meissner produce la llamada «levitación», que puede permitir la construcción de dispositivos sin fricción. De hecho, ya se ha puesto en práctica comercial en los trenes Maglev (del inglés *magnetic levitation*), en la línea Transrapid del aeropuerto de Shanghai, que cubre una trayectoria de 30 km en siete minutos.

El superconductor que se usa en los electroimanes de los tomógrafos, de los grandes aceleradores de partículas, etc., no es de «alta temperatura» sino de «baja temperatura» (temperatura del helio líquido,  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Esto actualmente se debe a que los superconductores de «baja temperatura» son aleaciones metálicas, que son más dúctiles y pueden formar enrollados. El dispositivo más trascendente en el uso de la superconductividad hasta el momento es el *Gran Colisionador de Hadrones* (en inglés *LHC*), que logró en 2013 el éxito al producir y detectar el *Boson de Higgs* (CERN, 2014). En el experimento *ALICE* del *LHC* participan científicos mexicanos pertenecientes a instituciones nacionales como el Centro de Estudios Avanzados (CINVESTAV), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y la Universidad Autónoma de Sinaloa, además de mexicanos trabajando en el extranjero (Figuras 15 y 16).

**Figura 15.** De izquierda a derecha: cerámica superconductor YBCO levitando sobre un campo magnético, estructura cristalina del YBCO y tren Transrapid de Shanghai, que funciona usando la levitación.



**Figura 16.** De izquierda a derecha: túnel del LHC, que muestra los haces de protones en direcciones contrarias, confinados, acelerados y dirigidos por 9300 electroimanes superconductores. Al centro se muestra el logo del LHC, que muestra las líneas de campo magnético. A la derecha: experimento ALICE en el LHC, donde se utilizan cuadrupolos magnéticos superconductores.



## De monocristales a nanocristales

Las propiedades estructurales de los cristales se estudian a máxima profundidad a través de la difracción de rayos X en monocristales, aplicando el Método de Laue (Laue, 1915) y sus derivados.

Algunas de las propiedades prácticas, como la que permite hacer los circuitos semiconductores, también se manifiestan en monocristales, o en láminas delgadas monocristalinas. Pero la utilidad de los cristales igualmente se manifiesta en cristales muy pequeños, las llamadas nanopartículas, o en otros sistemas en los que alguna de las dimensiones es nanométrica. En un nanómetro ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) «caben» unos pocos átomos. Las propiedades de los cristales de esas dimensiones son muy especiales.

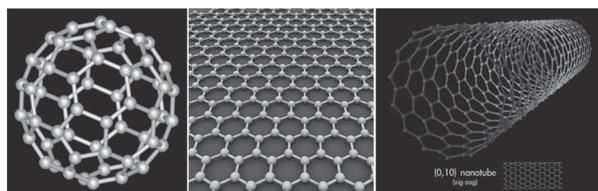
En la primera parte hablamos de las dos variedades más conocidas del carbono, que son el diamante y el grafito. Pues el carbono de los tiempos modernos tiene al menos tres variantes más que se clasifican como nanométricas: los *fullerenos*, los *nanotubos de carbono* y el *grafeno* (Figura 17).

Harry Kroto, James Heath, Sean O'Brien, Robert Curl y Richard Smalley, descubrieron el *fullereno*  $C_{60}$  y otros fullerenos en 1985. El experimento consistió en hacer incidir un rayo láser sobre un trozo de grafito. Los enlaces del carbono en el *fullereno* son muy estables, y el más famoso, el  $C_{60}$ , tiene una configuración de 20 hexágonos y 12 pentágonos (Vega Project, 2014). El nombre se propuso en honor de Fuller, el inventor de los domos geodésicos con esa misma configuración. El fullereno es la única estructura de carbono puro que se puede disolver en ciertos solventes, como el tolueno. Harry Kroto, Robert Curl y Richard Smalley recibieron el Premio Nobel de Química de 1996 por el descubrimiento del fullereno.

El *grafeno* es, esencialmente, *una sola capa* de la estructura del grafito. Tiene propiedades muy interesantes, pues el enlace entre los átomos de carbono es covalente y muy fuerte, que es parte de lo que le confiere esas propiedades. El *grafeno* es un material que tiene dimensiones subnanométricas en el espesor, y tiene extensión significativa en las otras dos dimensiones espaciales. El grafeno es transparente, flexible, elástico, tiene dureza mayor al acero, es ligero y reacciona químicamente. Todas estas propiedades ofrecen una perspectiva práctica muy grande. Los *nanotubos de carbono* (NC) son capas de grafeno envueltas formando tubos. Los NC pueden ser de una o varias capas. Los NC también son reactivos. Tienen la característica de ser de

dimensiones nanométricas en el diámetro, y sin embargo pueden alcanzar una longitud de 0.1 mm, de modo que son estructuras unidimensionales perfectas.

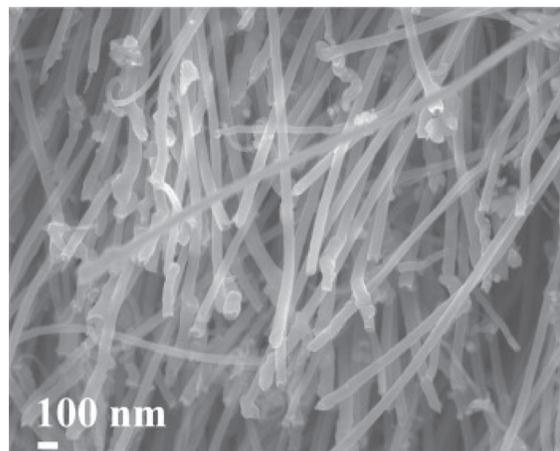
Figura 17. De izquierda a derecha: esquemas de las estructuras de *fullereno*  $C_{60}$ , *grafeno* y *nanotubo de carbono* (CNT).



La aparición de los fullerenos, los nanotubos y el grafeno abrió la época de la *nanotecnología*. Las nanopartículas pueden fabricarse de muchos materiales y, una vez fabricadas, se pueden hacer interactuar con el medio de manera interesante y útil. Para explicar estas características de una forma menos abstracta podemos mencionar algunas aplicaciones.

Los nanotubos de carbono se integran a aleaciones de aluminio con el objetivo de mejorar su rigidez y resistencia (Pérez-Bustamante, 2013). Para el aluminio reforzado con nanotubos se prevén aplicaciones diversas, por ejemplo, en la producción de rines para llantas, y en redes eléctricas (Figura 18).

Figura 18. Imagen al microscopio electrónico de nanotubos de carbono.

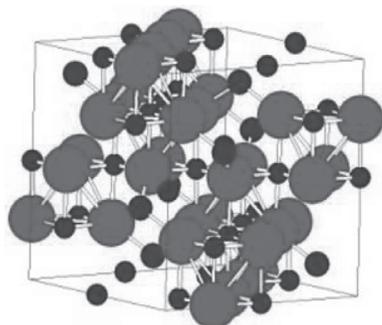


Mencionamos dos aplicaciones de nanocristales previstas para el futuro cercano en medicina.

Nano partículas de óxido de cerio dopado con 10% de Europio (Avran, 2014) son consideradas como una opción terapéutica para el tratamiento de trastornos neurodegenerativos y de la retina. La estructura de este óxido mixto varía entre cúbica y tetragonal, según el nivel del dopaje con europio.

Otro caso sorprendente es el uso de nanopartículas con propiedades magnéticas que posibilitan tratamientos novedosos y efectivos, en desarrollo, a pacientes con cáncer. Se colocan nanopartículas de magnetita (Figura 19) en el tejido afectado y mediante un campo magnético se pone a oscilar a estas nano-partículas. La vibración genera un calentamiento local que puede llegar a destruir el tejido canceroso. En CIMAV se participa en un proyecto conjunto para caracterizar las propiedades de las nanopartículas de magnetita (López-Maldonado, 2013), en colaboración con la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y el Instituto de Magnetismo Aplicado de la Universidad Complutense de Madrid, España.

**Figura 19.** Izquierda: estructura del óxido de cerio-10 % de europio. Derecha: estructura «*espinela*» de la magnetita.



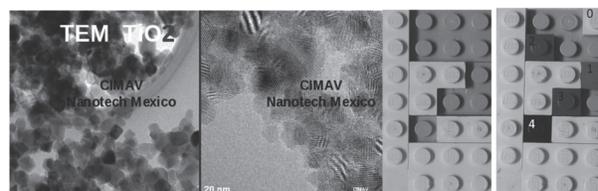
## Los cristales de Naica.

El crecimiento de *monocristales*, a partir de sus átomos o moléculas componentes en estado líquido, en solución o desde el gas comienza por la *nucleación*, que es la formación de un *nanocristal* de la sustancia. El proceso pasa inicialmente por un estado semejante al de la formación de las gotas de agua en una nube. Si se cumplen las condiciones de *cambio de fase* (solidificación o precipitación del

sólido), se unen *casualmente* las moléculas en sus choques. Hay un *tamaño crítico* de moléculas unidas a partir del cual el núcleo es relativamente estable. Después ocurre el proceso de crecimiento, de una manera parecida a jugar con un *Lego*.

Las condiciones propicias de precipitación dependen de la temperatura de la solución. Cuando una solución se enfría, en general tiende a precipitar la sustancia disuelta. En soluciones muy concentradas tienden a formarse muchos núcleos, tanto en las paredes como en el propio volumen del líquido. Se dice que hay mucha *nucleación*. En ciertas condiciones existe una especie de equilibrio, en que se forman núcleos al mismo ritmo en que éstos se redisuelven.

**Figura 20.** Izquierda: nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , semejantes a núcleos de cristalización. Derecha: superficie-Lego de un «cristal» con los defectos que representan los sitios donde se pueden adherir nuevas moléculas para el crecimiento. Los sitios vacíos de la izquierda tienen el número de paredes libres que aparecen en los sitios ocupados en colores a la derecha. Cuando un sitio tiene más paredes, mayor es la probabilidad de que una molécula adherida permanezca en el sitio.

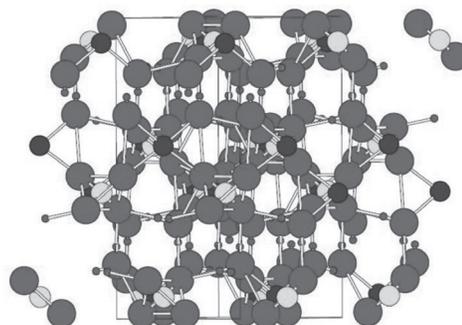


Para que crezcan monocristales grandes son necesarias las condiciones de temperatura y presión muy cercanas al equilibrio. Así no se forman más núcleos, sino que crece el núcleo que ya existe. Estas son las condiciones en que deben haber crecido las gemas y los grandes monocristales en la naturaleza, como algunos que se han mostrado en este texto.

## Los cristales son de México porque Naica está en Chihuahua

Los cristales más espectaculares, los mayores del mundo, están en la mina de Naica, en el estado de Chihuahua (Figura 21). Agua con sulfato de calcio en saturación cercana al equilibrio, temperatura alrededor de 56 °C, acuífero estable, pocos movimientos de la corteza terrestre, todo eso durante aproximadamente un millón de años, fueron las condiciones necesarias para la formación de estos

**Figura 21.** Arriba: fotografía panorámica de la Cueva de los cristales gigantes de Naica, donde se pueden apreciar sus dimensiones al compararla con la persona presente en el escenario. Abajo: estructura cristalina del yeso o selenita,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , donde se pueden apreciar los planos donde abundan los pequeños átomos de hidrógeno.



cristales (García-Ruíz, 2007). Los cristales gigantes de Naica llegan a 11 ~ 12 metros de longitud, un metro de diámetro y un peso de varias toneladas. Estos parámetros hacen maravillosa y excepcional la Cueva de los Cristales Gigantes.

La Cueva de los Cristales Gigantes se encuentra a 290 metros debajo de la superficie, está localizada cerca de una fractura y sus paredes están cubiertas por una costra de calcita y celestita con cantidades menores de óxidos de hierro, montmorillonita, clorita e illita. Los cristales gigantes de selenita, largos, parecidos a vigas, crecen a partir de estos grupos de cristales en forma de bloques directamente del suelo. Algunas vigas atraviesan la cueva de pared a pared, llamando la atención del espectador más apático.

Los cristales gigantes de Naica en Chihuahua tardaron más de un millón de años para formarse y tienen más de un millón de referencias en Internet. Por esto, por la minería y la industria chihuahuenses, se vale decir que Chihuahua es *Tierra de Cristales*.

## Referencias

AVRAM, D., C. Rotaru, B. Cojocar, M. Sanchez-Dominiguez, M. Florea and C. Tiseanu. 2014. Heavily impregnated ceria nanoparticles with europium oxide: Spectroscopic evidences for homogenous solid solutions and intrinsic structure of  $\text{Eu}^{3+}$ -oxygen environments. *J Mater Sci*, 49: 2117-2126.

BRATTAIN, W.H., J. Bardeen, W. Shockley, G. Ashton, M. Issott, R. Bullough, R. Newman, J. Wakefield, B. Claussen and P. Holmes. 1960. Historical development of concepts basic to the understanding of semiconductors. *The Institution of Electrical Engineers, Paper 3072E*: 266-267.

BRAGG, W. 1913. The structure of some crystals as indicated by their diffraction of x-rays. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 89: 248-277.

CERN The large hadron collider (lhc). <http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider>.

GARCÍA-RUÍZ, J.M., R. Villasuso, C. Ayora Ibañez, A. Canals y F. Otorola. 2007. Formación de megacristales naturales de yeso en Naica, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 59: 63-70.

HODGKIN, D.C. 1964. The x-ray analysis of complicated molecules. *Nobel lectures*, 1964.

KEPLER, J. Tratado «El copo de nieve de seis esquinas». 1611. [http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/archivos\\_01/strena-seu-de-nive-sexangula.pdf](http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/archivos_01/strena-seu-de-nive-sexangula.pdf)

LAUE, M.V. 1915. Concerning the detection of x-ray interferences. *Nobel lectures* 1915.

LOPEZ-MALDONADO, K., P. de la Presa, E. Flores-Tavizon, J. Farias-Mancilla, J. Matutes-Aquino, A. Hernando-Grande and J. Elizalde-Galindo. 2013. Magnetic susceptibility studies of the spin-glass and verwey transitions in magnetite nanoparticles. *Journal of Applied Physics*, 113: 17E132.

MENÉNDEZ-PROUPIN, E., S. Cervantes-Rodríguez, R. Osorio-Pulgar, M. Franco-Cisterna, H. Camacho-Montes and M.E. Fuentes. 2011. Computer simulation of elastic constants of hydroxyapatite and fluorapatite. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 4: 1011-1020.

PÉREZ-BUSTAMANTE, R., F. Pérez-Bustamante, I. Estrada-Guel, L. Licea-Jiménez, M. Miki-Yoshida and R. Martínez-Sánchez. 2013. Effect of milling time and cnt concentration on hardness of CNT/Al2024 composites produced by mechanical alloying. *Materials Characterization*, 75: 13-19.

RAAB, H. 2005. Wikipedia.

REYES, A., C. de la Vega, M.E. Fuentes, L. Fuentes. 2007.  $\text{BiFeO}_3$ : Synchrotron radiation structure refinement and magnetoelectric geometry. *Journal of the European Ceramic Society*, 27: 3709-3711.

VEGA SCIENCE TRUST - SIR HARRY KROTO. <http://vega.org.uk/about/internal/1>.

Este artículo es citado así:

Montero-Cabrera, M.E., L. E. Fuentes-Cobas, M. E. Fuentes-Montero. 2014: Chihuahua, Tierra de Cristales. 2014, Año Internacional de la Cristalografía. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 8(3): 142-151.

## Resumen curricular del autor y coautores

**MARÍA ELENA MONTERO CABRERA.** Terminó la Licenciatura en Física en la Universidad de la Habana en 1972. Se hizo Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas en Física Nuclear y de las Partículas Elementales, en el Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares, Dubna, Rusia, en junio 1987. Trabajó de 1973 hasta 1986 en la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, y desde 1986 hasta 2000 en el Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, en La Habana, Cuba. Es ciudadana mexicana por naturalización desde 2002. Es Investigadora Titular "C" del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) S.C., Departamento de Medio Ambiente y Energía, donde trabaja desde 1998. Fue presidenta de la Sociedad Cubana de Física desde 1994 hasta 1999. Es miembro de las Conferencias Pugwash sobre Ciencias y Asuntos Mundiales, a las que confirieron el Premio Nobel de la Paz de 1995. Directora de 10 tesis concluidas de doctorado, 14 de licenciatura y 21 de maestría. Premio Chihuahua 2012, del Instituto Chihuahuense de la Cultura, Área Tecnología, por el trabajo titulado "Sistema de toma de decisiones para el análisis en casos de cáncer en la ciudad de Chihuahua". Premio compartido por varios profesores e investigadores del CIMAV y la Universidad Autónoma de Chihuahua. Autora de más de 100 artículos en revistas y congresos nacionales e internacionales. Es miembro del SNI, nivel II. Realiza investigaciones sobre radiactividad ambiental y aplicaciones de la radiación sincrotrónica en el estudio de materiales avanzados y minerales. Es directora del Proyecto "Influencia del Ambiente sobre los Cristales Gigantes de Naica".

**MARÍA ELENA FUENTES-MONTERO.** Terminó su licenciatura en 1995, año en que le fue otorgado el título de Licenciada en Física por la Facultad de Física de la Universidad de la Habana, Cuba. Realizó su maestría en la misma institución en el tema de Neurociencias, obteniendo el grado de Maestro en Ciencias en 1997. Realizó su doctorado en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), obteniendo el grado de Doctor en Ciencia de Materiales en el año 2002. Desde 2003 trabaja en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) y posee la categoría de Académico titular C. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde ese mismo año y actualmente posee el reconocimiento de Nivel II. Ha dirigido 3 tesis de Licenciatura, 3 de Maestría y 1 de doctorado. Es coautora de alrededor de 40 artículos científicos, más de 50 trabajos en congresos, y 5 libros o capítulos de libros. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales).

**LUIS E. FUENTES COBAS.** Doctor en Física por la Universidad de la Habana, 1982. En Cuba (1970-1996) fue Investigador y Profesor Titular, Jefe del Depto. de Física General de la Universidad de la Habana, Secretario de la Comisión Nacional para Grados Científicos y Vicepresidente de la Comisión Nacional para la Enseñanza de la Física. Fue Jefe de la Sección Física del Estado Sólido de la Sociedad Cubana de Física. En México (1997-presente), es Investigador Titular "D" del Centro de Investigación en Materiales Avanzados - CIMAV. Lidera investigaciones experimentales y teóricas sobre la relación estructura - propiedades en materiales funcionales ecológicos. Dirige proyectos CONACYT vinculados con experimentos en los sincrotrones de Stanford (USA) y Elettra (Italia). Es autor de 150 publicaciones científicas y director de 40 tesis de posgrado. Sus trabajos incluyen artículos de portada en revistas especializadas de alto impacto, el texto actual de Electromagnetismo para Físicos en la Universidad de la Habana, libros y capítulos en Reverté, Springer y Elsevier. Es coordinador de la página <http://mpod.cimav.edu.mx> asociada a la base de datos internacional Material Properties Open Database y del Proyecto de Educación Científica "Materials World Modules-México" <http://mwm.cimav.edu.mx>. Ha recibido premios científicos en Rusia (Premio por Investigaciones Aplicadas del Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares "Dubna" 1983) y en Cuba (Destacado Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba 1997). Es Premio Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación Chihuahua 2012.

# Principales virus que afectan al cultivo de papa y metodologías para su identificación y caracterización

Main viruses affecting potato crop and methodologies for their identification and characterization

ANA CECILIA GONZÁLEZ-FRANCO<sup>1</sup>, MARIANA RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ<sup>1</sup>  
Y LORETO ROBLES-HERNÁNDEZ<sup>1,2</sup>

Recibido: Junio 3, 2013

Aceptado: Noviembre 25, 2013

## Resumen

El objetivo de esta revisión fue realizar una descripción de los principales virus que afectan al cultivo de papa, así como de las técnicas utilizadas actualmente para su detección e identificación. Algunos de los virus que más afectan al cultivo de papa en el mundo son PLRV, PVY y PVX, los cuales también pueden producir infecciones mixtas que aumenten aún más las pérdidas en rendimiento y calidad. Por lo anterior, el diagnóstico preciso de estos agentes causales es un requisito previo esencial para un control efectivo. Para este fin, un amplio espectro de métodos serológicos, bioensayos con plantas indicadoras y técnicas moleculares se han desarrollado y están actualmente en uso en muchos laboratorios de diagnóstico. Se espera que este manuscrito funcione como una guía para el personal que se encuentra involucrado en el diagnóstico y control de los principales virus fitopatógenos del cultivo de la papa.

**Palabras clave:** *Solanaceae*, PVY, PVX, PLRV, RT-PCR, Microarray, MIA, virus de la papa.

## Abstract

The aim of this review was to provide a description of the main viruses affecting potato crop as well as the techniques currently used for detection and identification. Some of the viruses that afflict potato crop in the world are PLRV, PVY, and PVX, which can also produce mixed infections that exacerbate yield and quality losses. Therefore, the accurate diagnosis of these causal agents is an essential prerequisite for effective control. Thus, a wide range of serological methods, bioassays with indicator plants and molecular techniques have been developed and are currently in use in many diagnostic laboratories. This manuscript will provide guidance to personnel that is involved in the diagnostic and control of the main phytopathogenic viruses of potato.

**Keywords:** *Solanaceae*, PVY, PVX, PLRV, RT-PCR, Microarray, MIA.

## Introducción

La papa es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, ocupando el cuarto lugar en producción (FAOSTAT, 2009). No obstante, se reportan más de 30 agentes virales que infectan este cultivo y que reducen su rendimiento y la calidad del tubérculo (Bradshaw *et al.*, 2007).

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Ciudad Universitaria S/N Campus 1 Chihuahua, Chih., México. 31310. Tel. (614) 439-1844 ext. 3119.

<sup>2</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: lrobles@uach.mx.

Por su alta prevalencia y sus efectos en la producción, los virus más estudiados son *Virus Y de la papa* (PVY), *Virus del enrollamiento de la hoja de papa* (PLRV) y el *Virus X de la papa* (PVX). Los síntomas del enrollamiento de las hojas causados por el PLRV, y los mosaicos ocasionados por PVX y PVY fueron de los primeros en ser observados en los cultivos de papa. Las enfermedades virales son las responsables primarias de la degeneración gradual de los cultivares, las cuales se traducen principalmente en la reducción del rendimiento (Salazar, 1997; Bradshaw *et al.*, 2007).

Estimar las pérdidas por infecciones virales es complicado, pues depende de diversos factores que incluyen las variantes virales, el cultivar y la edad de las plantas, los factores climáticos, la presencia de otros virus, entre otros (Guzmán, 2010). En muchos casos, la presencia conjunta de dos virus en la misma planta exacerba la expresión de los síntomas, aumentando las pérdidas (Bradshaw *et al.*, 2007). Por otro lado, determinar la distribución y la variabilidad genética de dichos patógenos es fundamental para los programas de manejo integrado y mejoramiento genético de la papa (Gil *et al.*, 2012). El objetivo de esta revisión es realizar una descripción de los principales virus que afectan al cultivo de papa, así como de las técnicas utilizadas actualmente para su detección e identificación.

### *Virus x de la papa (PVX)*

El PVX es uno de los virus más comunes que infectan al cultivo de la papa y está distribuido mundialmente. PVX puede infectar a más de 240 especies de plantas pertenecientes a 16 familias, siendo la *Solanaceae* la que concentra más hospederos para este virus.

Las plantas a menudo no muestran síntomas, pero cuando ocurren, el virus puede causar clorosis, mosaicos y reducción en el tamaño de la hoja (Figura 1). La fuente de este virus son los tubérculos infectados. Además, es transmitido mecánicamente y hasta ahora no se conocen insectos que actúen como vectores (Burrows, 2005).

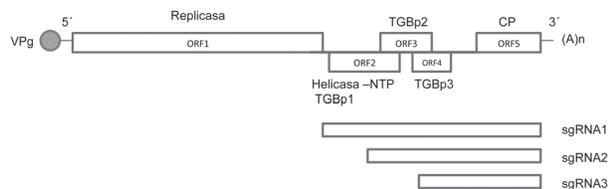
**Figura 1.** Plantas de papa cultivar Agata mostrando la sintomatología característica causada por PVX (Imagen de González-Franco, A.C. y Robles-Hernández, L.).



Las pérdidas en producción que puede causar este virus pueden ser superiores a 10% (CIP, 1996), pero puede llegar a ser un virus devastador si se presenta en infecciones mixtas; por ejemplo, cuando existe infección del PVX con el PVY, los síntomas se intensifican y las pérdidas pueden llegar a ser hasta 70% (Burrows, 2005; Asamenew, 2007).

El PVX es un *Potexvirus* de la familia *Alphaflexiviridae* (ICTV, 2009). Tiene forma filamentosa de aproximadamente 550 nm de longitud y 11-18 nm de ancho; su genoma está compuesto por una sola hebra de ARN con polaridad positiva de aproximadamente 6,4 kb. Su genoma codifica para al menos cinco marcos de lectura abiertos (ORFs), donde el ORF 1 codifica para la replicasa viral (RdRp) de 166 kDa. Los ORF2, ORF3 y ORF 4 se superponen y comprenden un bloque triple de genes que codifican para las proteínas del movimiento (MP); el ORF2 codifica la proteína TGBp1 de 25 kDa, el ORF3 codifica la proteína TGBp2 de 12 kDa y el ORF4 codifica la proteína TGBp3 de 8 kDa. Finalmente, el ORF5, codifica a la cubierta proteica (CP), de 25 kDa (Asamenew, 2007). En su extremo 5' posee una capucha de metil-guanosina y su extremo 3' está poliadenilado (Asamenew, 2007; Verchot *et al.*, 2007). En la Figura 2 se esquematiza la conformación del genoma del virus PVX, donde cada caja representa un ORF y las líneas representan RNA genómico y tres RNA subgenómicos (RNAsg).

**Figura 2.** Esquematación del genoma de PVX (Adaptado de Asamenew, 2007).



### Virus del enrollamiento de la hoja de la papa (PLRV)

El PLRV causa una de las enfermedades virales más importantes en la papa. La enfermedad afecta el rendimiento y la calidad de los tubérculos. Las pérdidas en rendimiento son difíciles de cuantificar, pero pueden llegar hasta un 90%; estas pérdidas pueden ser casi tan altas como el porcentaje de plantas con síntomas visuales de infección (Jayasinghe, 1988; Gul *et al.*, 2011).

El virus se localiza en los tejidos del floema, donde causa necrosis y aumento en la síntesis de calosa, carbohidrato que bloquea el transporte del almidón de las hojas hacia los tubérculos provocando el enrollamiento de las hojas (Jayasinghe, 1988; Gul *et al.* 2011).

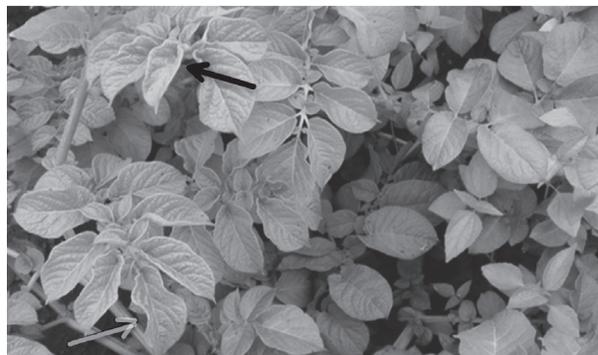
Los síntomas primarios típicos para *Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum* inician en las hojas apicales con enrollamiento, se observa crecimiento erecto y clorosis; después de cierto tiempo los síntomas se transfieren a las más viejas (Figura 3 y 4). Los síntomas secundarios se presentan con un crecimiento reducido y erecto. Las hojas inferiores se enrollan severamente y se vuelven rígidas (Jayasinghe, 1988; Gul *et al.*, 2011).

La mayoría de las variedades de papa no muestran síntomas en los tubérculos, solamente algunas como Russet Burbank y Green Mountain desarrollan necrosis reticulada en las células del floema de los tubérculos (Jayasinghe, 1988).

PLRV es transmitido por áfidos en una manera persistente-circulativa. También es transmitido por tubérculos infectados, pero no

mecánicamente. Varias especies de áfidos pueden transmitir el PLRV, pero el áfido *Myzus persicae* es el vector más importante (Gul *et al.*, 2011).

**Figura 3.** Síntoma de enrollamiento de hoja en plantas de papa cultivar Felsina (Imagen de González-Franco, A.C. y Robles-Hernández, L.).



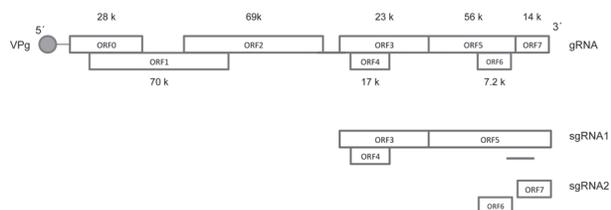
**Figura 4.** Síntomas de PLRV en plantas de papa cultivar Ruby Lou. Izquierda: enrojecimiento de los márgenes de las hojas (Adaptado de Mortimer, 2010). Derecha: enrollamiento de hoja de papa (Gul *et al.*, 2011).



El PLRV es el miembro tipo de los polerovirus. Es un *Luteovirus* cuyas partículas virales son esféricas, no envueltas, con un diámetro de 24 nm (Jayasinghe, 1988). Su genoma es ARN lineal, monopartita de sentido positivo y mide 5987 nucleótidos de largo; posee una proteína viral unida al genoma (VPg) en su extremo 5' pero carece de cola poliadenilada en su extremo 3'. Tiene seis marcos de lectura abierta (ORFs) dispuestas en dos bloques separados por una pequeña región intergénica (Li *et al.*, 2007); sin embargo, de acuerdo con Taliensky *et al.* (2003) y Kaplan *et al.* (2007) hay ocho ORFs (Figura 5). El ORF0 codifica la proteína de 28 kDa P0 involucrada en la

acumulación del virus (Sadowy *et al.*, 2001). El ORF4 codifica para una proteína putativa de movimiento OP17 y su CP está implicada en la transmisión por vectores y movimiento del virus (Kaplan *et al.*, 2007).

**Figura 5.** Esquema del genoma de PLRV. Los ORFs se muestran con los pesos moleculares aparentes de sus productos génicos (Adaptado de Jaag *et al.*, 2003).



### Virus Y de la papa (PVY)

Las pérdidas en el rendimiento por causa de infecciones por el PVY se encuentran entre un 10 y un 80% dependiendo del cultivar, las características de la cepa viral, las condiciones de almacenamiento y del control de insectos y maleza; además, la necrosis del tubérculo puede afectar la calidad de los cultivos y reducir aún más el rendimiento comercial (Pérez y Rico, 2004).

El PVY se encuentra distribuido en todo el mundo y es transmitido por al menos 70 especies de áfidos de manera no persistente-no circulativa (Martínez *et al.*, 2001).

Puede también transmitirse mecánicamente y por semilla; sin embargo, los áfidos son el medio más veloz de transmisión, y el vector más eficaz es *Myzus persicae* (Smith *et al.*, 1988; Pérez y Rico, 2004; Burrows y Zitter, 2005).

Existen dos patotipos de PVY definidos sobre la base de los síntomas inducidos en la planta de tabaco, el grupo necrótico, representado por la cepa parental PVY<sup>N</sup> y el no necrótico, cuya cepa parental es PVY<sup>O</sup> (Blanchard *et al.*, 2008).

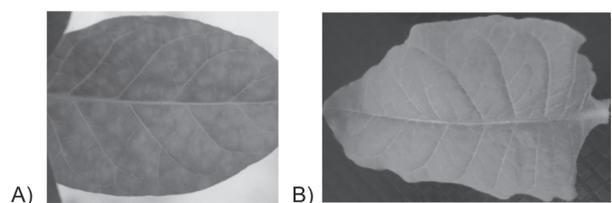
El grupo no necrótico causa en papa síntomas de tipo mosaico; los síntomas primarios son un moteado y una necrosis de los folíolos, seguida por la muerte de las hojas.

Las plantas infectadas con este virus presentan un menor crecimiento, con hojas arrugadas y fruncidas (Smith *et al.*, 1988). En la planta de tabaco las cepas PVY<sup>O</sup> causan aclarado de venas y epinastía, seguido de moteado de venas (Figura 6). Dentro del grupo de PVY que no producen necrosis, además de PVY<sup>O</sup>, se encuentran las cepas PVY<sup>C</sup>, PVY<sup>Z</sup> y PVY<sup>E</sup>, las cuales son reconocidas como inductoras de mosaico y manchas leves en las hojas (Smith *et al.*, 1988; Karasev *et al.*, 2010).

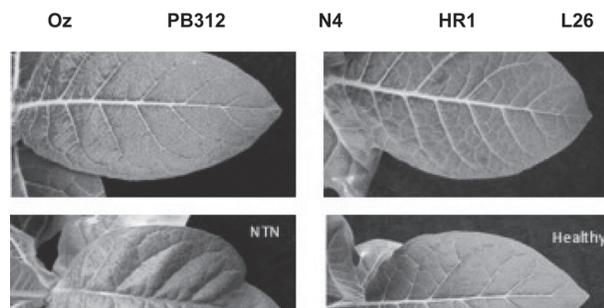
El grupo necrótico, representado por PVY<sup>N</sup> produce síntomas primarios leves en planta de papa; sin embargo, los síntomas secundarios suelen ser más claros y varían de un moteado atenuado a uno más grave. En plantas de tabaco, las cepas PVY<sup>N</sup> causan síntomas primarios similares a PVY<sup>O</sup>, con una aparición posterior de lesiones necróticas repartidas en las hojas; las venas primarias empardecen y las hojas colapsan prematuramente contra el tallo (Figura 6) (Smith *et al.*, 1988; Delaunay, 2007).

Las infecciones mezcladas de la raza común PVY<sup>O</sup> y la necrótica PVY<sup>N</sup> son frecuentes y sus genomas se pueden mezclar produciendo razas híbridas como PVY<sup>N-W</sup> y PVY<sup>NTN</sup>. Estas variedades son diferentes de las cepas parentales, serológicamente concuerdan con PVY<sup>O</sup>, sin embargo, inducen síntomas de necrosis venal sistémica como PVY<sup>N</sup> en plantas de tabaco. Los aislados de PVY<sup>NTN</sup> pueden, además, causar necrosis en los tubérculos de papa (Figura 7). Los aislados PVY<sup>N-W</sup> inducen necrosis venal en tabaco y mosaico leve en las hojas de papa (Smith *et al.*, 1988; Delaunay, 2007; Blanchard *et al.*, 2008).

**Figura 6.** Síntomas desarrollados en *Nicotiana tabacum* cv. *xanthi* tres semanas después de la inoculación con dos patotipos de PVY: A) Síntomas de mosaico por aislado tipo PVY<sup>O</sup> y B) Necrosis venal por aislado tipo PVY<sup>N</sup> (González-Franco, A.C. y Robles-Hernández, L.).

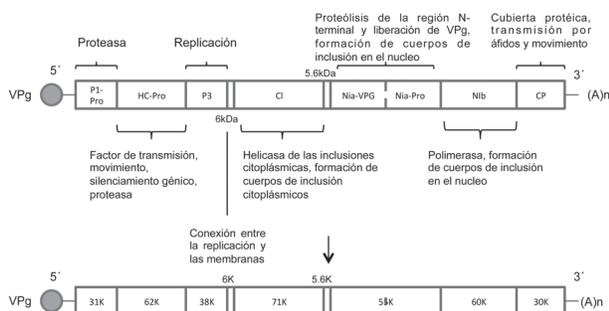


**Figura 7.** Síntomas inducidos en tubérculo de papa cultivar Yukon Gold por varios aislados de PVY perteneciendo al patotipo PVY<sup>O</sup> (Oz) y al PVY<sup>NTN</sup> (PB312, N4, HR1 y L26) (Adaptada de: Hu *et al.*, 2009).



El PVY es un *Potyvirus* miembro de la familia *Potyviridae* de RNA monocatenario positivo. Las partículas virales del PVY tienen una estructura helicoidal, de forma filamentosa, flexibles y miden unos 730 nm por 11 nm (Smith, 1931; Smith *et al.*, 1988; Burrows y Zitter, 2005; Kehoe y Jones, 2011). El genoma del PVY (Figura 8) consta de aproximadamente 9.7 kb, el cual contiene un único marco de lectura abierto (ORF) flanqueado por regiones no codificantes, este ORF se traduce como un único polipéptido de aproximadamente 350 kDa con una proteasa VPg unida covalentemente al extremo 5' mediante una tirosina y una cola de poli adenosina en el extremo 3' del genoma (Susaimuthu *et al.*, 2008) que es procesado proteolíticamente para madurar las proteínas virales: P1-pro, HC-Pro, y NIa. Los productos proteicos finales son: P1-pro, HC-Pro, P3, CI-Helicasa, 6 kDa, NIa, NIb y CP (Martínez *et al.*, 2001; Astier *et al.*, 2007).

**Figura 8.** Esquema del genoma del PVY (Adaptado de Astier *et al.*, 2007).



En un estudio reciente se publicó el descubrimiento de la presencia de un segundo ORF corto nombrado pipo y que se encuentra incrustado en el cistrón P3 del ORF antes descrito; este ORF pequeño resulta ser un gen conservado y característico de los virus de la familia *Potyviridae* (Chung *et al.*, 2008). Estudios de interrupción de este gen demuestran que la capacidad de sobrevivencia e infectividad del virus se ve afectada (Chung *et al.*, 2008); además, en otro estudio con un miembro distinto de la familia *Potyviridae* sugiere que este ORF pequeño está implicado en el movimiento intercelular (Vijayapalani *et al.*, 2012).

## Métodos de detección e identificación de los diferentes virus

Las pruebas biológicas de detección se basan en el análisis de la virulencia y la agresividad de los aislados virales, mediante el uso de plantas hospedantes indicadoras que expresan una gama de síntomas, de acuerdo con las diferentes propiedades del inóculo en estudio. Para la identificación y caracterización de PVY se utilizan principalmente *Nicotiana tabacum* cv. *xanthi* (hospedero susceptible a las propiedades necróticas de PVY<sup>N</sup>, PVY<sup>NTN</sup> y PVY<sup>N-Wi</sup>), donde se observa una severa necrosis de nervaduras en sus hojas (Ramírez *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2009), y algunas variedades de papa que puedan expresar reacción de hipersensibilidad a PVY<sup>O</sup>, y producción de tubérculos con síntomas de necrosis cuando están infectados por cepas del patotipo PVY<sup>NTN</sup> (Hu *et al.*, 2009; Galvino *et al.*, 2012). Por otro lado, *Chenopodium amaranticolor* hace posible la distinción entre PVY<sup>O</sup> que produce lesiones locales en la hoja inoculada y PVY<sup>N</sup> que provoca infección sistémica (Salazar, 1990; Jacquot, 2007).

Para PLRV se pueden utilizar hospedantes como *Physalis floridana* y *Datura stramonium* que reaccionan con síntomas característicos; *P. floridana* presenta clorosis entre las nervaduras, ligero enrollamiento de la base de

las hojas, reducción del tamaño de las hojas y del crecimiento de las plantas; las hojas infectadas sistémicamente desarrollan clorosis intervenal y las hojas más viejas pueden enrollarse ligeramente. *D. stramonium* desarrolla una fuerte clorosis entre las nervaduras (Jayasinghe, 1988).

Para la identificación de PVX se utilizan como plantas indicadoras: *Datura stramonium*, *Nicotiana tabacum* y *Gomphrena globosa* L. En esta última, cuatro a cinco días después de la infección, presenta pequeñas manchas grises en el sitio de inoculación, que van aumentando de tamaño y se van rodeando de una zona rojiza. Las plantas afectadas en forma sistémica por el virus presentan zonas cloróticas o de mosaico entre las nervaduras de las hojas (UNAD, 2012).

## Pruebas serológicas

Estas pruebas se basan en la alta especificidad de la reacción antígeno-anticuerpo, en la que un anticuerpo reconoce e interacciona sólo con la porción de antígeno que le dio origen, o con otra muy semejante (Nome, 1995). La técnica ELISA fue desarrollada en 1971 para emplearla en medicina, y adaptada en 1977 a la patología vegetal, en especial para la detección de virus en plantas. La técnica ELISA tipo sándwich es la más utilizada para la detección de virus fitopatógenos. La prueba consiste, en un primer paso, en sensibilizar la superficie de las celdillas del plato o placa con una capa de anticuerpo primario, luego se coloca la muestra y se añade el anticuerpo secundario, pero esta vez conjugado con una enzima; una reacción positiva se observa con un cambio de color provocado por la unión del sustrato a la enzima. Este ensayo tiene una gran especificidad y sensibilidad debido a la amplificación de señal que permite el segundo anticuerpo (Nome, 1995; Rivers, 2007).

De acuerdo a la variabilidad de cepas de algunos virus fitopatógenos, se han creado sueros que hacen posible la detección de todos los aislamientos de alguna especie de virus en específico como PVY (sueros policlonales) o la

identificación de aislamientos de acuerdo con sus patogrupos (sueros monoclonales), por ejemplo PVY<sup>N</sup> vs PVY<sup>O</sup>. Las características de la secuencia codificante para la proteína de la cubierta de los virus determina la especificidad de la detección serológica de los aislamientos (Jacquot, 2007).

La aparición de nuevas variantes en ciertos virus, como PVY<sup>NTN</sup> y PVY<sup>N-W</sup> evidenció las limitaciones de las herramientas inmuno-serológicas disponibles, ya que en algunos casos no es posible diferenciar entre las variantes virales, por ejemplo, anticuerpos monoclonales y policlonales agrupan a PVY<sup>N-W</sup> en el grupo PVY<sup>O</sup> y no son capaces de hacer la distinción entre PVY<sup>NTN</sup> y aislados PVY<sup>N</sup> (Jacquot *et al.*, 2011).

*Inmunoensayo múltiple con microesferas (MIA)*. Fue diseñada como una alternativa a la ELISA y permite la detección de varios antígenos simultáneamente, mientras que la técnica ELISA solo permite la detección de un solo antígeno por reacción. Otra ventaja de MIA es el tiempo requerido para el procesamiento de muestras, ya que requiere aproximadamente 2 h, mientras que el DAS-ELISA se completa generalmente en 16 h (Bergervoet *et al.*, 2008). Los fundamentos de la técnica MIA se describen a continuación. Las perlas utilizadas se tiñen internamente con dos fluorocromos y para cada conjunto de microesferas se puede conjugar un anticuerpo específico (Bergervoet *et al.*, 2008). Las perlas recubiertas de anticuerpos se añaden a las muestras después de la transferencia a una placa de microtitulación. Posteriormente, se añaden los anticuerpos secundarios conjugados con un fluorocromo reportero, y se miden en un analizador multiparamétrico (Earley *et al.*, 2002). El analizador multiparamétrico excita los tintes internos de las microesferas con un láser rojo, y al fluorocromo reportero, capturado por el antígeno, con un láser verde (Bergervoet *et al.*, 2008). Esta técnica fue utilizada por Bergervoet *et al.* (2008) en una muestra vegetal naturalmente infectada con PVX, PVY y PLRV, obteniendo resultados comparables con la técnica DAS-ELISA.

## Pruebas moleculares

Las diferencias genéticas entre los genomas virales pueden ser utilizadas como objetivos específicos para la detección molecular y la identificación de los aislados virales (Delaunay, 2007). Aunado a lo anterior, la tendencia actual se orienta hacia las estrategias para una rápida identificación de más de un patógeno a través del desarrollo de múltiples plataformas de análisis (Cheng *et al.*, 2013).

*La transcripción reversa de la reacción en cadena de la polimerasa (RT-PCR) múltiple.* La RT-PCR es una de las pruebas moleculares más utilizadas en la detección de virus de plantas, donde una hebra de ARN es empleada para sintetizar ADN complementario (ADNc), el cual es posteriormente amplificado en un PCR tradicional (Vázquez, 2003). Se le llama PCR múltiple cuando se amplifica simultáneamente más de una secuencia de ADN en una sola corrida; para ello, se combinan dos o más pares de cebadores específicos en un mismo tubo, junto con el resto de los reactivos de la reacción. Para la detección y tipificación de algunos virus, existen ensayos de PCR múltiple en los que en una sola reacción se logran diferenciar patotipos virales (Lorenzen *et al.*, 2008; Hu *et al.*, 2009).

Un ensayo convencional múltiple de RT-PCR puede detectar PVY y PLRV con éxito en muestras de tubérculos de papa latentes, lo cual representa una ventaja en comparación con ELISA, que necesita de hojas para la obtención de la muestra. Además, se considera que la RT-PCR múltiple proporciona respuestas rápidas y mayor garantía de calidad en la detección que la prueba de ELISA (Mortimer *et al.*, 2009).

*Secuenciación de genes y análisis filogenético.* El método más utilizado es la secuenciación dideoxi. El término proviene de un nucleótido especial modificado, llamado trifosfato dedidesoxinucleótido (ddNTP). Este nucleótido tiene la capacidad de bloquear la síntesis de ADN por carecer del grupo 3' hidroxilo (Griffiths, 2004).

En el caso del estudio de virus fitopatógenos, las investigaciones que utilizan la secuenciación de genes están enfocadas principalmente a el análisis filogenético de los diversos tipos de virus, ya que continuamente se encuentran nuevas cepas con características serológicas que no concuerdan con el daño que ocasionan en plantas indicadoras o con los resultados de las pruebas de identificación por RT-PCR (Hu *et al.*, 2009; Robles *et al.*, 2010; Galvino *et al.*, 2012).

*PCR en tiempo real.* Esta técnica se ha convertido en el método más preciso y sensible para la detección y cuantificación de patógenos de plantas. Es una variante de la PCR, la cual es utilizada para amplificar y cuantificar simultáneamente el producto de la amplificación (Zipper, 2004).

El uso de un sistema de un solo tubo para múltiples repeticiones de la PCR en tiempo real tiene la ventaja sobre un sistema de dos etapas, ya que estos métodos no se basan en la electroforesis en gel de agarosa de los amplicones, que requieren una manipulación de tubo abierto, reduciendo el riesgo de contaminación y el riesgo de resultados falsos positivos (Agindotan *et al.*, 2007; Cheng *et al.*, 2013). La temperatura de fusión ( $T_m$ ) de las secuencias diana expande el poder del análisis en tiempo real, ya que la temperatura de fusión se basa en las características de disociación de ADN de doble cadena y permite que este análisis sea específico para el fragmento diana (Chomic *et al.*, 2011).

El producto de amplificación se genera a través de PCR en tiempo real en presencia de un colorante fluorescente. El colorante se intercala en el interior del surco menor de la hélice y emite fluorescencia brillante en estado ADN de doble cadena. Siguiendo la amplificación en tiempo real, la etapa de fusión se lleva a cabo mediante el aumento paulatino de la temperatura, que resulta en la disociación del producto de amplificación de doble cadena y la liberación del colorante fluorescente. La disminución de la fluorescencia se puede convertir en picos de fusión (Chomic *et al.*, 2011).

El análisis de pico de fusión utilizando un colorante simple ofrece un método sensible, específico, rápido y de alto rendimiento para la detección y diferenciación de varios virus a la vez; por ejemplo, se ha reportado la identificación de hasta cinco virus de la papa en una sola corrida incluyendo a PVX, PVY, PLRV, PVA y PVS (Cheng *et al.*, 2013).

**Microarreglos de DNA.** El principio de los microarreglos radica en la hibridación del ácido nucleico marcado con fluorescencia o radioactividad a sus secuencias complementarias en una superficie sólida, que actúa como sonda. La principal ventaja de este método con respecto a las técnicas de biología molecular como la reacción en cadena de la polimerasa, es la oportunidad de detectar simultáneamente en un único procesamiento muchos patógenos. Hasta decenas de miles de sondas de ADN se pueden detectar en la configuración definida en un portaobjetos de microscopio de vidrio que forma el chip (Bystricka *et al.*, 2005).

Para la identificación de virus, las sondas son secuencias de genes de cada uno de los virus que deben ser detectados en un único ensayo. Dicha micromatriz puede ser expuesta a ADNc marcado con fluorescencia de la muestra a analizar y, finalmente, la placa se escanea para revelar si alguno de los objetivos estaban presentes en la muestra (Boonham *et al.*, 2003).

El método ha demostrado ser capaz de discriminar secuencias con alto grado de identidad de secuencia, por lo que el ensayo podría ser utilizado para detectar cepas estrechamente relacionadas de virus, tales como las cepas de PVY, con más de 89% de identidad de secuencia. La sensibilidad de esta técnica es comparable con la técnica ELISA (Boonham *et al.*, 2003; Bystricka *et al.*, 2005).

## Conclusiones

Es importante mencionar que el uso de una sola técnica, ya sea biológica, serológica o molecular, no es suficiente para diagnosticar el agente viral causal de una enfermedad en plantas. La sintomatología por sí sola no permite

distinguir fielmente entre tipos del virus, ya que los síntomas pueden ser muy similares entre enfermedades virales; además, estos varían con la edad, el momento de infección, la temperatura, y la genética, tanto del virus como de la planta huésped. Así mismo, se pueden dar reacciones serológicas cruzadas entre virus relacionados o reacciones serológicas no recíprocas entre pares de virus. Cuando existen infecciones mixtas, la RT-PCR puede fallar al detectar todas las variantes de secuencias o especies, o puede amplificar preferentemente algunos virus (Wei *et al.*, 2009; Holland y Jones, 2006). Por lo antes mencionado, el uso conjunto de múltiples técnicas (biológicas, serológicas y moleculares) es necesario para una identificación y caracterización más precisa de los agentes virales.

## Literatura Citada

- AGINDOTAN, B., P. J. Shiel, and P. H. Berger. 2007. Simultaneous detection of potato viruses, PLRV, PVA, PVX and PVY from dormant potato tubers by TaqMan® real-time RT-PCR. *Journal of Virological Methods* 142: 1–9.
- ASAMENEW, T. 2007. A study of vascular movement of *Potato virus X* (PVX) TGBp1, TGBp2 and CP using the Commelina yellow mottle virus promoter and GFP. Ph.D. Dissertation, Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State University, USA.
- ASTIER, S., J. Albouy, Y. Maury and C. Robaglia. 2007. Principles of Plant Virology, Genome, Pathogenicity, Virus Ecology. Science Publishers, Enfield, NH, USA. 472 p.
- BERGERVOET, J.H.W., J. Peters, J.R.M.C. van Beckhoven, G.W. van den Bovenkamp, J.W. Jacobson, and J.M. van der Wolf. 2008. Multiplex microsphere immune detection of *Potato virus Y*, *X* and PLRV. *Journal of Virological Methods* 149: 63-68.
- BLANCHARD, A., M. Rolland, A. Delaunay, and E. Jacquot. 2008. An International Organization to Improve Knowledge on *Potato Virus Y*. URL: [www.inra.fr/pvyorganization](http://www.inra.fr/pvyorganization)
- BOONHAM, N., K. Walsh, P. Smith, K. Madagan, I. Graham, and I. Barker. 2003. Detection of potato viruses using microarray technology: towards a generic method for plant viral disease diagnosis. *Journal of Virological Methods* 108: 181-187.
- BRADSHAW, J., C. Gebhardt, F. Govers, D.K.L. Mackerron, M.A. Taylor, and H.A. Ross. 2007. *Potato biology and biotechnology advances and perspectives*. Elsevier. Italy. 801 p.
- BURROWS, M. and T. Zitter. 2005. *Virus Problems of Potatoes*. USDA-ARS and Department of Plant Pathology Cornell University Ithaca, NY. URL: [http://vegetablemndonline.ppath.cornell.edu/NewsArticles/Potato\\_Virus.htm](http://vegetablemndonline.ppath.cornell.edu/NewsArticles/Potato_Virus.htm)
- BYSTRICKA, D., O. Lenz, I. Mraz, L. Piheroova, S. Knoch, and M. Sip. 2005. Oligonucleotide-based microarray: A new improvement in microarray detection of plant viruses. *Journal of Virological Methods* 128: 176–182.
- CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). 1996. *Manual: Principales Enfermedades, Nematodos e Insectos de la Papa*. Editorial Stella. Lima, Perú. 43 p.

- CHENG, J., Y. Jiang, P. Rao, H. Wu, Q. Dong, Z. Wu, X. Ding, and J. Guo. 2013. Development of a single-tube multiplex real-time PCR for detection and identification of five pathogenic targets by using melting-curve analysis with EvaGreen. *Archives of Virology* 158: 379–386.
- CHOMIC, A., L. Winderb, K. F. Armstronga, M. N. Pearsonc, and J. G. Hampton. 2011. Detection and discrimination of members of the family Luteoviridae by real-time PCR and SYBR® Green/RTM melting curve analysis. *Journal of Virological Methods* 171: 46–52.
- CHUNG, B. Y-W, W. A. Miller, J. F. Atkins, and A. E. Firth. 2008. An overlapping essential gene in the Potyviridae. *The National Academy of Sciences of the USA* 105: 5897-5902.
- DELAUNAY, A. 2007. An International Organization to Improve Knowledge on *Potato Virus Y*. URL: [www.inra.fr/pvyorganization](http://www.inra.fr/pvyorganization)
- EARLEY, M.C., R.F. Vogt, H.M. Shapiro, F.F. Mandy, K.L. Kellar, R. Bellisario, K.A. Pass, G.E. Marti, C.C. Stewart, and W.H. Hannon. 2002. Report from a workshop on multianalyte microsphere assays. *Cytometry* 50: 239–242.
- FAOSTAT, 2009. Producción mundial de papa, 1991-2007. URL: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
- GALVINO, S.B.F., A. Figueira, V.V. Camargos, P.S. Geraldino, X. Hu, O.V. Nikolaeva, C. Kerlan, and A.V. Karasev. 2012. A Novel type of *Potato virus Y* recombinant genome, determined for the genetic strain PVY<sup>E</sup>. *Plant Pathology* 61: 388-398.
- GL, J.F, J.M Cotes, y M. MARIN. 2012. Detección y caracterización molecular del *Virus X de la Papa* (PVX) en regiones productoras de papa de Colombia. *Revista de Protección Vegetal* 27, (2):69-76.
- GRIFFITHS, A. J. F., J. H. Miller, D. T. Suzuki, R. C. Lewontin, and W. M. Gelbart. 2004. An Introduction to Genetics Analysis. 7ª Edición. W.H. Freeman & Co. 354-362p.
- GUL, Z., A. Khan and K. Jameel. 2011. Study of *Potato leafroll virus* (PLRV) of Potato in Pakistan. *Canadian Journal on Scientific and Industrial Research* 2, (1): 24-34.
- GUZMÁN, M., V. Román, L. Franco y P. Rodríguez. 2010. Presencia de cuatro virus en algunas acepciones de la Colección Central Colombiana de papa mantenida en campo. *Agronomía Colombiana* 28(2): 225-233.
- HOLLAND, M. B. and R. A. C. Jones. 2005. Benefits of virus testing in seed schemes. In «Proceedings of 'Potato 2005'- Australian National Potato Conference» (A. J. Pitt and C. Donald, eds), Cowes, Victoria, Australia pp. 81-87.
- HU, X., T. Meacham, L. Ewing, S. Gray, and A. Karasev. 2009. A novel recombinant strain of *Potato virus Y* suggest a new viral genetic determinant of vein necrosis in tobacco. *Virus Research* 143: 68-76.
- INTERNATIONAL COMMITTEE ON TAXONOMY OF VIRUSES (ICTV). 2009. Virus Taxonomy: URL: <http://www.ictvonline.org/index.asp>
- JAAĞ, H. M., L. Kawchuk, W. Rohde, R. Fischer, N. Emans, and D. Prüfer. 2003. An unusual internal ribosomal entry site of inverted symmetry directs expression of a potato leafroll polerovirus replication-associated protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(15): 8939–8944.
- JACQUOT, E. 2007. An International Organization to Improve Knowledge on *Potato Virus Y*. URL: [www.inra.fr/pvyorganization](http://www.inra.fr/pvyorganization)
- JACQUOT, E., C. Kerlan, V. Balme, and M. Rolland. 2011. Methods for detecting isolates of the *potato virus Y* (PVY) responsible for necroses. United States Patent 8063270. URL: <http://www.freepatentsonline.com/8063270.html>
- JAYASINGHE, U. 1988. *El Virus del enrollamiento de la hoja de papa* (PLRV). Boletín de información técnica 22. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 21p.
- JOOS, T.J.G. 2004. Protein microarray technology. *Expert Review of Proteomics* 1: 1–3.
- KAPLAN, I. B., L. Lee, D.R. Ripoll, P. Palukaitis, F. Gildow, and S.M. Gray 2007. Point mutations in the *Potato leafroll virus* major capsid protein alter virion stability and aphid transmission. *Journal of General Virology* 88: 1821-1830.
- KARASEV, A. V., O. V. Nikolaeva, X. Hu, Z. Sielaff, J. Whitworth, J. H. Lorenzen, and S. M. Gray. 2010. Serological Properties of Ordinary and Necrotic Isolates of *Potato virus Y*: A Case Study of PVY<sup>N</sup> Misidentification. *American Journal of Potato Research* 87: 1–9.
- KEHOE, M., and R. Jones. 2011. A proposal to help resolve the disagreement between naming of *potato virus Y* strain groups defined by resistance phenotypes and those defined by sequencing. *Archives of Virology* 156: 2273–2278.
- LI, X., C. Halpin and M.D. Ryan. 2007. A novel cleavage site within the *Potato leafroll virus* P1 polyprotein. *Journal of General Virology* 88: 1620-1623.
- LORENZEN, J., P. Nolte, D. Martin, J. Psyche, and N.C. Gudmestad. 2008. NE-11 represents a new strain variant class of *Potato virus Y*. *Archives of Virology* 153: 517-525.
- MARTÍNEZ, B., C. Llave, F. Atencio, J. Díaz y D. López. 2001. La transmisión de los potyvirus por pulgones (Revisión). *Investigación agraria. Producción y protección vegetal* 16 (2):149-167.
- MORTIMER-JONES, S. M. 2010. Development of Diagnostic Tools for the Seed Potato Industry. Ph.D. Thesis, Murdoch University, Western Australia.
- MORTIMER, S.M., M.G.K. Jones, R.A.C. Jones, G. Thomson, and G. I. Dwyer. 2009. A single tube, quantitative real-time RT-PCR assay that detects four potato viruses Simultaneously. *Journal of Virological Methods* 161: 289–296.
- NOME, S. F. 1995. Prueba de detección de virus, viroides y organismos fitopatógenos sistémicos aplicados al cultivo de tejidos. Cap 20. Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y aplicaciones. 670-675p.
- PÉREZ, M.L. y J.E. Rico. 2004. Identificación de virus fitopatógenos en cultivos hortícolas de importancia económica en el estado de Guanajuato, México. Editorial de la Universidad de Guanajuato. 1ª. Edición. Guanajuato, Guanajuato, México. 143 p.
- RAMÍREZ, V.R., G. Frías y J.P. Martínez. 2006. Caracterización de variantes necróticas del virus PVY detectadas en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Biológicas* 8: 150162.
- RIVERS, E. 2007. Incidencia del *Virus del mosaico del dasheen* (dsmv) y producción de plantas libres del virus en Malanga (*Colocasia* spp.). Tesis. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- ROBLES-HERNÁNDEZ, L., A.C. González.Franco, J. Hernández.Huerta, T. M. Meacham, O. V. Nikolaeva, and A. V. Karasev. 2010. First Identification of an Unusual Recombinant *Potato virus Y* Strain in Potato in Mexico. *Plant Disease* 94 (10): 1262.
- SADOWY, E., M. Juszczyk, C. David, B. Gronenborn, and M. D. Hulanicka. 2001. Mutational analysis of the proteinase function of *Potato leafroll virus*. *Journal of General Virology* 82: 1517-1527.
- SALAZAR, F. 1990. Metodología Para La Detección De Virus de Papa: Pasado, Presente Y Futuro. *Revista Latinoamericana de la Papa* 3: 1-12.
- SALAZAR, L. F. 1997. Identificación y Control de Enfermedades Virales y Fitoplasmas de la Papa. Simposium Internacional de la Papa. Metepec, Estado de México.
- SMITH, I., J. Dunez, R. Lelliott, D. Phillips y S. Archer. 1988. Manual de enfermedades de las plantas. 1ra Edición. Editorial Blackwell Scientific Publications LTD. 76-78p.

- SMITH, K. 1931. On the composite nature of certain potato viruses of the mosaic group as revealed by the use of plant indicators. *Proceedings of the Royal Society, B* 109: 251-267.
- SUSAIMUTHU, J., I. Tzanetakis, R. Gergerich, and R. Martin. 2008. A member of a new genus in the *Potyviridae* infects *Rubus*. *Virus Research* 131: 145-151.
- TALIANSKY, M., M.A. Mayo, and H. Barker. 2003. *Potato leafroll virus*: a classic pathogen shows some new tricks. *Molecular Plant Pathology* 4: 81-89.
- UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD). 2012 Capitulo 5: Algunos virus vegetales limitantes en el área agrícola. Lección 21. Virus de la papa URL: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/203016/contLinea/leccin\\_21\\_virus\\_de\\_la\\_papa.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/203016/contLinea/leccin_21_virus_de_la_papa.html).
- VÁZQUEZ, E. 2003. Bioquímica y Biología Molecular en línea. Instituto de Química de la UNAM. URL: <http://laguna.fmedic.unam.mx/~evazquez/0403/pcr.html>.
- VERCHOT, J., C.M. Ye, and D. Bamunusinghe. 2007. Molecular biology of potexvirus: recent advances. *Journal of General Virology* 88 (6): 1643-1655.
- VIJAYAPALANI, P., M. Maeshima, N. Nagasaki-Takekuchi, and W.A. Miller. 2012. Interaction of the Trans-Frame Potyvirus Protein P3N-PIPO with Host Protein PCaP1 Facilitates Potyvirus Movement. *PLOS Pathogens* 8: 4.
- WEI, T., M. Pearson, D. Blohm, M. Nölte, and K. Armstrong. 2009. Development of a short oligonucleotide microarray for the detection and identification of multiple potyviruses. *Journal of Virological Methods* 162: 109-118.
- ZIPPER, H., H. Brunner, J. Bernhagen, and F. Vitzthum. 2004. Investigations on DNA intercalation and surface binding by SYBR Green I, its structure determination and methodological implications. *Nucleic Acids Research* 32, (12): 1-10. 

---

Este artículo es citado así:

González-Franco, A. C, Mariana Rodríguez-Rodríguez y Loreto Robles-Hernández. 2014. Principales virus que afectan al cultivo de papa y metodologías para su identificación y caracterización. *TECNOCENCIA Chihuahua* 8(3): 142-151.

## Resumen curricular del autor y coautores

**LORETO ROBLES HERNÁNDEZ.** Título de Ingeniero Fruticultor (1992) y grado de Maestro en Ciencias de la Productividad Frutícola (1998) por la Universidad Autónoma de Chihuahua, y grado de Doctor en Fitopatología (2004) por la Universidad de Idaho, USA. Es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Realiza investigación en el estudio de enfermedades de cultivos hortícolas. Imparte los cursos de Fitopatología, Microbiología, Control Biológico y Fisiología y Tecnología de Poscosecha. Ha desarrollado proyectos de investigación con financiamiento externo. Ha dirigido y concluido varias tesis de maestría y licenciatura. Ha publicado capítulos de libros, artículos científicos y resúmenes en memorias de congresos nacionales e internacionales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), cuenta con el nombramiento de Perfil Deseable por la SEP-PROMEP y tiene dos primeros lugares por la presentación de los mejores trabajos de investigación, otorgados por la Sociedad Mexicana de Fitopatología y la Asociación Mexicana de Microbiología, respectivamente. Es revisor del Journal Plant Disease y de la Revista Mexicana de Fitopatología.

**ANA CECILIA GONZÁLEZ FRANCO.** Título de Químico Bacteriólogo Parasitólogo en 1992 y grado de Maestro en Ciencias de la Productividad Frutícola en 1995 por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su Doctorado en Microbiología, Biología Molecular y Bioquímica (2004) en la Universidad de Idaho, USA. Es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Realiza investigación en el Control Biológico de Enfermedades y en la Interacción-Microorganismo-Planta. Imparte las cátedras de Interacción-Microorganismo-Planta, Bioquímica, Química y Biotecnología. Ha desarrollado proyectos de investigación con financiamiento externo. Ha dirigido y concluido varias tesis de maestría y licenciatura. Ha publicado artículos científicos y resúmenes en memorias de congresos nacionales e internacionales. Cuenta con el nombramiento de Perfil Deseable por la SEP-PROMEP y tiene dos primeros lugares por la presentación de los mejores trabajos de investigación, otorgados por la Sociedad Mexicana de Fitopatología y la Asociación Mexicana de Microbiología, respectivamente.

**MARIANA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ.** Egresada de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua en el 2010. Obtención del título de Químico Bacteriólogo Parasitólogo con la tesis titulada: "Obtención de principios activos de plantas con actividad biológica y aplicación como antifúngico frente a *Fusarium oxysporum* y *Aspergillus niger*". Actualmente se encuentra adscrita a la Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua con el tema de investigación titulado, "Identificación y caracterización del Virus Y de la papa en diferentes cultivares de papa del estado de Chihuahua".

# Caracterización fisicoquímica, reológica y funcional de harina de avena (*Avena sativa* L. cv Bachíniva) cultivada en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua

Physicochemical, rheological and functional characterization of oat flour (*Avena sativa* L. cv Bachiniva) cultivated in the region of Cuauhtemoc, Chihuahua

FERNANDO FÉLIX FLORES-PEÑA<sup>1</sup>, FLAVIA YADIRA LOZANO-QUEZADA<sup>2</sup>, ARTURO RAMOS-MARTÍNEZ<sup>2</sup>,  
RENÉ SALGADO-DELGADO<sup>3</sup>, VÍCTOR MANUEL GUERRERO-PRIETO<sup>1</sup>, SALVADOR RAMÍREZ-MANCINAS<sup>2</sup>,  
LUIS ARTURO BELLO-PÉREZ<sup>4</sup> Y PAUL BARUK ZAMUDIO-FLORES<sup>2,5</sup>

Recibido: Abril 8, 2013

Aceptado: Agosto 14, 2014

## Resumen

En el presente trabajo se obtuvo una harina a partir del cereal de avena (*Avena sativa* L.) de la variedad Bachíniva, el cual representa una de las principales fuentes de ingresos para la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. La harina se caracterizó fisicoquímicamente mediante la evaluación de color, poder de hinchamiento/solubilidad y análisis químico proximal. Se determinaron sus propiedades térmicas, moleculares, de formación de pastas (perfil amilográfico) y reológicas. Los resultados mostraron que la harina de esta avena es alta en proteínas y lípidos (6 y 8%, respectivamente) lo cual es adecuado para regímenes alimenticios en donde se requieren una alta cantidad de estos nutrientes. La temperatura y la entalpia de gelatinización (62 °C y 8 J/g) fueron comparables con los valores reportados en otras variedades de avenas. El perfil amilográfico, la viscosidad y las propiedades funcionales indicaron una posible interacción entre los compuestos no amiláceos y el almidón, lo cual se corroboró con el análisis molecular. Los resultados indicaron que esta harina, por sus características fisicoquímicas, reológicas y funcionales puede ser empleada en la industria alimentaria para la producción de pudines, formulaciones infantiles y panes para enfermos celíacos.

**Palabras clave:** harina, poder de hinchamiento, solubilidad, espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier, perfil amilográfico, propiedades térmicas.

## Abstract

In this work It was obtained a flour made out of cereal oat (*Avena sativa* L.) cv Bachiniva, which represents one of major source of income for the region of Cuauhtemoc, Chihuahua. The flour was physicochemically characterized by evaluating color, swelling power/solubility and proximate chemical analysis. Thermal, molecular, formation of pastes (amylographic profile) and rheological properties were determined. The results showed that this oat meal is high in protein and lipid (6 and 8%, respectively) which is suitable for feeding regimes where high amounts of these nutrients are required. The temperature and enthalpy of gelatinization (62 °C and 8 J/g) were comparable to those reported in other varieties of oats. The amylographic profile, viscosity and functional properties indicated a possible interaction between non-starch compounds and starch which was corroborated by molecular analysis. The results indicated that this flour for their physicochemical, rheological and functional properties can be used in the food industry for the production of puddings, infant formula and breads for celiac patients.

**Keywords:** flour, swelling power, solubility, Fourier transform infrared spectroscopy, amylographic profile, thermal properties.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas Campus Cuauhtémoc. Av. Presa La Amistad # 2015, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Cuauhtémoc, Fisiología y Tecnología de Alimentos de la Zona Templada. Avenida Río Conchos s/n, Parque Industrial, Apartado postal 781, C.P. 31570, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Teléfono: 625 5812920, 21 y 70, Ext. 111.

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico de Zacatepec. Posgrado-Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Calzada Tecnológico 27, Zacatepec, Morelos, México.

<sup>4</sup> Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Km 8.5 carr. Yautepec-Jojutla, Col. San Isidro, C.P. 62731, Yautepec, Morelos, México.

<sup>5</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: pzamudio@ciad.mx.

## Introducción

**A**nivel mundial, la avena constituye un cereal minoritario en comparación con otros cereales como el trigo, el maíz y el arroz, ya que representa un 1.5% de la producción global total de los cereales, siendo similar en producción a los cereales de sorgo y centeno (Morris y Bryce, 2000). Actualmente los productores más importantes de este cereal son Rusia, Canadá, Estados Unidos de América, Alemania, Finlandia y Australia (Galdeano *et al.*, 2009).

El cereal de avena se cultiva ampliamente en las regiones de clima templado y se estima que la producción mundial en el año 1998 fue de aproximadamente 33,000,000 t (Morris y Bryce, 2000). Se considera una planta de estación climática fría y muy sensible a altas temperaturas en época de floración y de formación del grano, exigente en agua, adaptable a suelos arcillo-arenosos donde se retenga humedad y se adapta mejor que otros cereales a suelos ácidos, cuyo pH oscile entre 5 y 7 (SAGARPA, 2010).

El grano de avena está compuesto principalmente de los carbohidratos de almidón y  $\beta$ -glucanos, los cuales constituyen cerca del 60% de la materia seca (Hoover *et al.*, 2003), presenta además otros componentes que aunque son minoritarios son de suma importancia nutritiva, como las proteínas y los lípidos (Liu *et al.*, 2010). El consumo de productos a base de avena se ha asociado con una disminución de los niveles de colesterol sanguíneo, ingesta reducida de glucosa, disminución en la respuesta a la insulina plasmática y control del peso a través de una saciedad prolongada (Hallfrisch y Behall, 2000; Welch, 1995); efectos que se atribuyen a la elevación de la viscosidad en el tracto gastrointestinal, causado principalmente por los  $\beta$ -glucanos (Liu *et al.*, 2010; Wood, 2007).

Diversos estudios han publicado algunas características fisicoquímicas y reológicas de los principales componentes de la avena, entre los que destacan los trabajos pioneros realizados por Paton (1977 y 1979), Doublier *et al.* (1987) y recientemente por Galdeano *et al.*

(2009) y Berski *et al.* (2011) en torno a la propiedades reológicas de almidones de avenas de diferentes variedades y de los efectos individuales e interacciones entre los componentes de  $\beta$ -glucanos, almidón y proteína en las propiedades de formación de pastas en harinas de siete diferentes líneas experimentales de avenas (Liu *et al.*, 2010).

A nivel nacional, de acuerdo con datos proporcionados por la SAGARPA en el año 2009, la producción de avena fue de aproximadamente 130,500 t. Se sabe que el estado de Chihuahua ocupa el primer lugar nacional en producción de avena en grano, con un aporte superior al 70% de la producción nacional total (SAGARPA, 2010).

La región de Cuauhtémoc, Chihuahua, se caracteriza por su amplia cultura ganadera y agrícola, en este último sector sobresale el cultivo del cereal de avena y sobre todo la variedad de avena «Bachíniva». Esta variedad se liberó como una alternativa para sustituir a las variedades precoces «Páramo» y «Cusihuirachi», las cuales son susceptibles a las enfermedades de roya y como una variedad de alto rendimiento para la industria (Salmerón, 2002). Las características agronómicas de la avena variedad «Bachíniva» fueron descritas por Salmerón (2002); destacan su buena adaptación y su mayor rendimiento en comparación con las otras variedades de avena.

Al momento, y a pesar de que la avena «Bachíniva» es uno de los cereales más cultivados y cosechados en la región de Cuauhtémoc, poco se conoce en cuanto a la composición fisicoquímica de este cereal, por

lo que el objetivo del presente trabajo consistió en realizar una caracterización fisicoquímica, reológica y funcional a la harina de este cereal con la idea de tener una mejor comprensión de la relación estructura-función de los principales componentes y con esto diversificar su aplicación industrial.

## Materiales y métodos

**Materiales.** Se obtuvieron tres lotes de 20 kg del cereal de avena variedad «Bachiniva» los cuales fueron proporcionados por la empresa «Avenas del Norte» localizada en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua. Todos los reactivos químicos utilizados para el análisis químico proximal fueron de grado analítico, adquiridos de Sigma-Aldrich, Co. (Toluca, Estado de México, México).

**Obtención de la harina.** Se utilizó la metodología reportada por Hoover *et al.* (2010) con una modificación consistente en que solamente se llegó a la parte correspondiente a la harina, para lo cual se lavó la avena con agua destilada por al menos 2 min y se dejó remojando con el agua destilada en una relación 1:2 (cereal:agua en peso/volumen) por un mínimo de 1 h. Una vez transcurrido el tiempo de remojo, se desechó el agua y se preparó una mezcla al 35% p/v con agua destilada para licuarse a una velocidad moderada (250 rpm) por 15 min. La suspensión se filtró mediante un cedazo fino (100  $\mu$ m) en un vaso de precipitados. El coleccionado del vaso de precipitados se dejó reposar durante 2 h con el fin de separar las capas líquidas. Se agregó agua destilada en una relación 1:2 (almidón:agua) (p/v), se agitó a una velocidad de 250 rpm durante 15 min y se dejó reposar por 2 h.

Se descartó el sobrenadante y el precipitado se vació en soportes metálicos (charolas de aluminio) y se dejó reposar y secar durante 16 h a temperatura ambiente ( $20 \pm 3$  °C). Una vez seco el material, éste se molió con la ayuda de un mortero y se tamizó en un cedazo de malla mediana (1 mm) para obtener partículas de tamaño homogéneo.

## Caracterización fisicoquímica.

**Análisis químico proximal.** Se realizó la determinación de proteínas, lípidos, fibra, cenizas y humedad a la harina mediante los métodos oficiales de la AOAC (2002).

**Determinación del almidón total (AT).** Se determinó el contenido de AT mediante una cuantificación que estima la cantidad total de almidón que está disponible a la hidrólisis enzimática. Esta determinación se realizó utilizando la metodología reportada por Goñi *et al.* (1997), para lo cual se dispersaron 50 mg de la muestra en una solución de KOH a la concentración de 2 M para hidrolizar todo el almidón que pudiera contener la muestra durante 30 min y posteriormente se incubó a 60 °C, durante 45 min a un pH de 4.75 con una solución de la enzima amiloglucosidasa (Marca Roché, núm. 102 857, Roche Diagnostics, IN, EUA), transcurrido este tiempo se procedió a determinar el contenido de glucosa liberada utilizando el ensayo de glucosa oxidasa/ peroxidada (GOD/PAD) (SERA-PAK® Plus, Bayer de México, S.A. de C.V.). El contenido de AT se calculó como glucosa (mg) x 0.9, como referencia se utilizó almidón de papa.

**Evaluación de color.** El color se determinó utilizando un colorímetro Minolta CR-300 (Minolta, Co., Ltd., Osaka, Japón). El equipo se calibró con un estándar de color blanco. Las lecturas se tomaron de puntos aleatorios sobre la superficie de las muestras. Se registraron un promedio de cuatro lecturas por muestra. Las lecturas se reportaron en el sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Las mediciones del color se realizaron por triplicado.

Evaluación de las propiedades funcionales.

**Perfil de hinchamiento y solubilidad.** La solubilidad se determinó por el método propuesto por Huijbrechts *et al.* (2008), para lo cual se pesaron 0.1 g de la harina (en base seca) y se mezclaron con 1.5 mL de agua destilada, posteriormente, la suspensión se calentó durante 4 h a 60, 70, 80 y 90 °C. La mezcla se centrifugó a 6,500 x g durante 30 min.

El sobrenadante se decantó y se secó a 105-106 °C durante 12 h. Se registró el peso del sedimento. El poder de hinchamiento se definió como la relación del peso del sedimento húmedo al peso inicial del almidón seco. El porcentaje de solubilidad se determinó a partir de la relación del peso del sobrenadante seco al peso seco inicial del almidón.

*Determinación de las propiedades térmicas.* Se estudiaron las propiedades térmicas de la harina utilizando un calorímetro diferencial de barrido modelo 2010 (TA Instruments, Inc. New Castle, EUA), para lo cual se empleó el método propuesto por Paredes-López *et al.* (1994), el cual consistió en mezclar 2 mg de la muestra (en base seca) con 7  $\mu$ L de agua desionizada en una charola de aluminio. La charola se selló herméticamente con una prensa manual y se dejó equilibrar por 1 h antes de realizar el análisis. Las muestras se sometieron a un programa de calentamiento en un intervalo de temperatura de 30 a 120 °C y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. La determinación se hizo al menos por triplicado.

*Evaluación de la viscosidad aparente.* La viscosidad aparente se determinó mediante un reómetro AR1500ex (TA Instruments, New Castle, DE, EUA) el cual se equipó con la geometría de placas paralelas de acero inoxidable ( $\theta = 60$  mm) adaptado con el sistema Peltier para el control de la temperatura a 25 °C. Se utilizó un gap de 500  $\mu$ m entre las placas, la cantidad de muestra utilizada fue de 1.5 mL a la concentración de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 % (p/v). La viscosidad aparente ( $\eta_{ap}$ ) se determinó en función del incremento de la velocidad de corte ( $\dot{\gamma}$ ) de 10 a 600  $s^{-1}$  y observando el esfuerzo cortante ( $\tau$ ). Las curvas se ajustaron utilizando el modelo reológico de Ostwald-de Wael también conocido como la Ley de Potencia:  $\tau = \kappa \dot{\gamma}^n$ ; donde:  $\tau$  = Esfuerzo cortante (Pa),  $\dot{\gamma}$  = Velocidad de corte o deformación ( $s^{-1}$ ),  $\kappa$  = Coeficiente de consistencia (Pa.s<sup>n</sup>),  $n$  = Índice de comportamiento de flujo (adimensional) (Steffe, 1992).

*Perfil de formación de pastas.* El perfil de formación de pastas se determinó mediante la técnica propuesta por la AACCC (2000), para lo cual se preparó una dispersión de almidón al 10% (p/v) de sólidos totales en base seca. Se transfirieron 10 mL de la dispersión al tazón de un equipo Micro-Viscoamiloógrafo Brabender (Brabender, OHG, Duisburg, Alemania). Se programó el equipo a un ciclo de calentamiento-cocción-enfriamiento a partir de una temperatura inicial de 30 °C; posteriormente, se calentó a 95 °C y se mantuvo esta temperatura por 10 min, luego se enfrió a 50 °C y se dejó a esta temperatura por 10 min. Se empleó una velocidad de calentamiento-enfriamiento durante todo el ciclo de 3 °C/min y una velocidad de agitación de 125 rpm. Para observar los comportamientos fisicoquímicos, y con fines de comparación, se realizó un análisis a una muestra de almidón de maíz comercial (control).

*Caracterización molecular.* Para la caracterización molecular se utilizó la técnica FTIR (espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier) mediante un espectroscopio de infrarrojo de la serie PRS (Marca MIDAC, CA, EUA) el cual estuvo equipado con un sistema de pastilla de KBr y con el sistema de reflectancia total atenuada a una temperatura de 25  $\pm$  2 °C. Para la muestra se colectaron 32 barridos con una resolución de 4  $cm^{-1}$  y de estos se obtuvo un valor promedio. Se trabajó en la región de 400 a 4000  $cm^{-1}$  debido a que es la región en la cual se identifican sus características específicas y los grupos funcionales. Con fines de comparación, se realizó una determinación con una muestra de almidón de maíz comercial (control).

*Análisis estadístico.* Los experimentos se realizaron empleando un diseño completamente aleatorizado. Se utilizó un análisis de varianza (AdeVA,  $p \leq 0.05$ ) usando el programa estadístico Sigma-Stat, versión 2.03 (Fox *et al.*, 1995). Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de las medias ( $p \leq 0.05$ ; Walpole *et al.*, 1999).

## Resultados y discusión

**Análisis químico proximal.** En el Cuadro 1 se observan los resultados obtenidos del análisis químico proximal de la harina de avena. En general se observó un alto contenido de lípidos y proteínas (8 y 6%, respectivamente) lo cual ha sido corroborado por otros investigadores en muestras de harinas de avenas de diferentes variedades (Åman, 1987; Glennie-Holmes *et al.*, 1992; Hartunian-Sowa y White, 1992). Estos valores fueron más altos que los reportados por Hoover y Ratnayake (2003) lo cual se debió a que el cereal de avena cv Bachíniva presentó un mayor contenido de lípidos y proteínas. También se cuantificó un alto contenido de fibra, lo cual se debió a restos de pericarpio que pudieron ser producto de la molienda. Diversos investigadores han reportado la presencia de una alta cantidad de fibra dietaria en muestras de harinas de otras variedades de avenas, por lo que su presencia es característica de estos cereales y esto representa una fuente nutritiva importante para la salud humana debido a la presencia de  $\beta$ -glucanos en la fibra (Hoover *et al.*, 2003; Welch, 1995).

**Cuadro 1.** Resultado del análisis químico proximal realizado a la harina de avena\*.

Análisis	Cantidad (%)
Lípidos	8.00 ± 0.20
Proteínas**	6.40 ± 0.20
Cenizas	1.20 ± 0.02
Fibra	4.03 ± 0.08
Humedad	3.50 ± 0.10
Almidón total	67.20 ± 1.50

\* Promedio de tres repeticiones ± error estándar. Valores en porcentaje en base seca. \*\*Cuantificado por el método Kjendahl. Factor de conversión de  $N_2 = 6.25$ .

Con respecto al contenido de almidón total se obtuvo un porcentaje de 67% en promedio en las muestras de harina. Esto nos indicó que esta harina presentaba una cantidad importante de

almidón, el cual es el componente responsable de conferirle algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales a la harina (Ayadi *et al.*, 2011).

**Evaluación de color.** El resultado de la evaluación de color en la harina se observa en el Cuadro 2. Como se puede apreciar, la harina presentó un valor del factor de luminosidad ( $L^*$ ) de  $\approx 91$ , con coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  de 0.04 y 7.42, respectivamente; mientras que el croma y el °hue fueron de 7.82 y 90. En cuanto al valor  $L^*$ , los resultados son comparativamente similares a los reportados por von Atzingen y Silva Machado Pinto (2005) en un estudio realizado en harinas y almidones de cereales (harina de trigo,  $L^* = 91.8$ ; harina de maíz,  $L^* = 82.3$  y almidón de maíz,  $L^* = 97.10$ ). Estos resultados indicaron una coloración blanca debido a la presencia del componente mayoritario (el almidón) y que esta harina es adecuada para utilizarse para consumo humano en productos alimenticios como formulaciones infantiles.

**Cuadro 2.** Evaluación de color y variables térmicas obtenidas por calorimetría diferencial de barrido (CDB) en la harina de avena\*.

Análisis	Variables analizadas				
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	Croma	°hue
Color	90.52 ± 0.08	0.036 ± 0.01	7.42 ± 0.04	7.82 ± 0.50	89.7 ± 0.08
CDB	$T_g$		$\Delta H$ (J/g)		
	61.85 ± 0.93		8.10 ± 0.99		

\* Promedio de cinco repeticiones ± error estándar.  $T_g$  = temperatura de gelatinización;  $\Delta H$  = cambio de entalpía asociado a la gelatinización.

**Análisis térmico.** En el Cuadro 2 se observan los resultados obtenidos de las variables térmicas. El valor de la variable  $T_g$  (temperatura de gelatinización) está dentro de los intervalos reportados por otros investigadores en un estudio realizado con cultivares de avena ( $T_g = 56$  a  $74$  °C; Hoover *et al.*, 2003). Galdeano *et al.* (2009) determinaron un valor de  $T_g$  de  $64.71$  °C en una muestra de almidón de avena de la variedad IAC-7 y recientemente, Ovando-Martínez *et al.* (2013) reportaron un valor de  $T_g$  de  $62.74$  °C en una harina de avena americana (*Avena sativa* L. cv

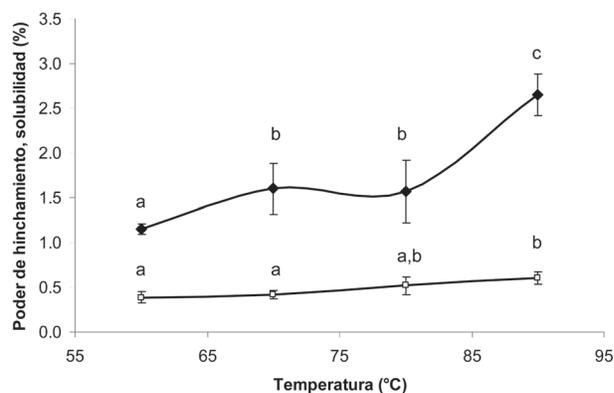
«Ebeltoft»). El resultado de  $T_g$  indicó el valor de la temperatura a la cual se está llevando la gelatinización de los gránulos de almidón; la otra variable térmica ( $\Delta H$  = cambio de entalpía) mostró la cantidad de energía necesaria para llevar a cabo ese cambio fisicoquímico. Noda *et al.* (1998) fundamentan que la temperatura de gelatinización es influenciada por la estructura molecular de la región cristalina, la cual se debe a la distribución de las cadenas de amilopectina, y no a la proporción de regiones cristalinas.

El valor obtenido de  $\Delta H$  (8.10 J/g) fue ligeramente menor al reportado por Hoover *et al.* (2003) en muestras de almidones de avenas de otras variedades. Esta variación puede deberse a que en los estudios anteriormente mencionados se han reportado valores de variables térmicas en muestras de almidones, mientras que los estudios realizados en torno a harinas del cereal de avena son escasos. En comparación con otros cereales como el maíz, los valores de  $T_g$  y  $\Delta H$  son inferiores, lo cual puede deberse al mayor contenido de lípidos (Wang y White, 1994) y a la presencia de una mayor cantidad de cadenas cortas de la amilopectina que conforma el gránulo de almidón (Mua y Jackson, 1995).

Estos resultados son importantes desde el punto de vista de la industria de alimentos, ya que indican que la harina cv Bachiniva puede tener un impacto positivo en la textura final en alimentos como pudines, formulaciones infantiles y en los productos de panificación.

**Poder de hinchamiento y solubilidad.** En la Figura 1 se observa el resultado de poder de hinchamiento y solubilidad de la harina de avena. Se observaron incrementos en el poder de hinchamiento y solubilidad en la muestra a medida que incrementó la temperatura. Este comportamiento se debió principalmente al efecto de la temperatura en el hinchamiento de los gránulos de almidón y al fenómeno fisicoquímico de la gelatinización, el cual involucró un rompimiento de la estructura granular (Chávez-Murillo *et al.*, 2012).

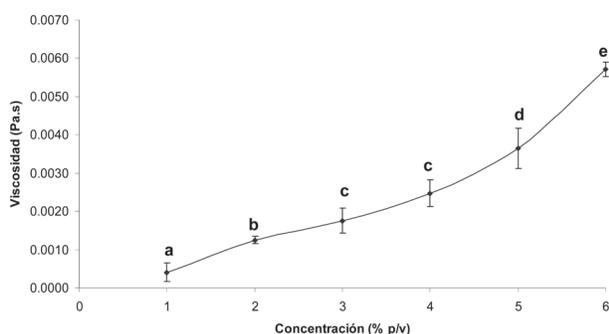
**Figura 1.** Poder de hinchamiento ( $\square$ ) y solubilidad ( $\blacklozenge$ ) de la harina de avena. Valores con letras iguales en las barras de error estándar no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).



Está claramente comprobado que los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero a medida que se incrementa la temperatura, estos comienzan a absorber agua y, si el calentamiento es continuo, se produce la gelatinización. Lo anterior ha sido reportado por diversos investigadores en muestras de almidón de plátano (Aparicio-Saguilán *et al.*, 2005) y amaranto (Bello-Pérez *et al.*, 1998). Los valores de hinchamiento y solubilidad en la muestra de harina son bajos en comparación con los valores (9.5 a 22.3%) reportados por Hoover y Senanayake (1996) en almidones de avenas AC Stewart (*Avena sativa* L.) y NO 753-2 (*Avena nuda* L.). Estos bajos valores pueden estar relacionados con la cantidad de amilosa presente en el almidón, la cual actúa como diluyente e inhibe el hinchamiento, especialmente en la presencia de lípidos, los cuales forman complejos insolubles con la amilosa durante el hinchamiento y gelatinización (Oladebeye *et al.*, 2009; Tester y Karkalas, 1996; Zeleznak y Hosney, 1987). Lo anteriormente mencionado está de acuerdo con la mayor cantidad de lípidos presente en la harina de avena (Cuadro 1). En ciertos alimentos, como los pudines, se requiere la funcionalidad del poder de hinchamiento y solubilidad para impartir textura y consistencia en los rellenos para productos de panificación.

**Viscosidad aparente.** En la Figura 2 se muestra el resultado de la viscosidad aparente de la harina a diferentes concentraciones. Estas concentraciones son las más utilizadas en la industria alimentaria para lograr los efectos de viscosidad en la textura de alimentos. Se observó un aumento gradual a medida que se incrementó la concentración de la harina en la dispersión, oscilando desde 0.40 mPa.s para la dispersión de harina al 1% (p/v), hasta un valor de 5.7 mPa.s para la dispersión al 6% (p/v). No se observaron diferencias significativas entre las viscosidades de las dispersiones elaboradas al 3 y 4%. Los incrementos en los valores de viscosidad aparente entre las dispersiones están directamente asociados al mayor contenido de fibra en las concentraciones mayores debido a la presencia de  $\beta$ -glucanos (datos no mostrados) los cuales están involucrados con los incrementos de viscosidad en diversas actividades fisiológicas en el tracto digestivo (Wood *et al.*, 1994; Dikeman y Fahey, 2006; Regand *et al.*, 2011).

**Figura 2.** Resultado de la viscosidad aparente (a  $600\text{ s}^{-1}$ ) en las dispersiones de harina de avena. Valores de viscosidad con letras iguales en las barras de error estándar no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).



Nuestros resultados son comparables con los recientemente reportados por otros investigadores en muestras de harinas comerciales de trigo, cebada de grano entero y harina integral de centeno (Rieder *et al.*, 2015) y en harinas integrales de seis cultivares de avena (Polar, Akt, Cakco, STH, STH7505, STH 6905) originarias del país de Polonia (Zarzycki y Sobota, 2015). En términos generales, estos resultados de viscosidad sugieren que la harina cv Bachiniva

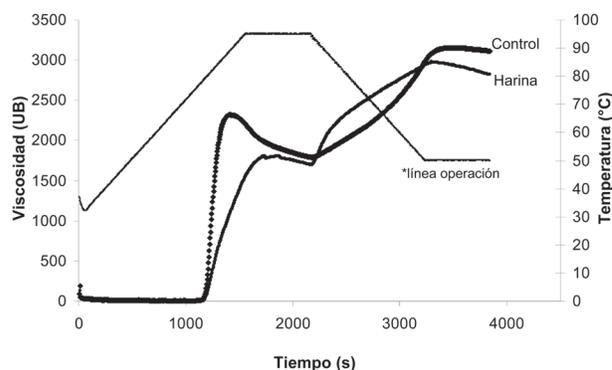
podría encontrar aplicaciones en alimentos que requieren de una viscosidad y consistencia necesaria en la textura, como pueden ser pudines y formulaciones lácteas infantiles.

#### *Perfil amilográfico o de formación de pastas.*

Los resultados obtenidos del perfil amilográfico mostraron que durante la etapa de calentamiento (30 a  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se presentó, tanto en la muestra como en el control, un aumento gradual de la viscosidad (UB) hasta obtener el valor máximo (viscosidad máxima o pico máximo) (Figura 3). El valor de viscosidad máxima fue de 2350 UB para la muestra control y de 1750 UB para la harina de avena. Estas diferencias se debieron a que la harina de avena presentó otros compuestos además de almidón, como las proteínas, lípidos y fibra (Cuadro 1), los cuales pudieron interferir en el proceso de solubilización e hidratación del almidón. Thebaudin *et al.* (1998) observaron que, cuando el almidón es calentado en exceso de agua, sus granos son hinchados y al mismo tiempo parte de sus componentes son solubilizados, provocando un aumento en el hinchamiento y la suspensión de partículas dispersadas en la fase continua.

En general se observó que la harina de avena no siguió el comportamiento atribuible a una muestra amilácea, en la cual se puede apreciar la curva de viscosidad máxima, el descenso de esta viscosidad por el efecto de la gelatinización del almidón y un posterior incremento en la viscosidad debida a la retrogradación de la amilosa (el cual se conoce como *set back*).

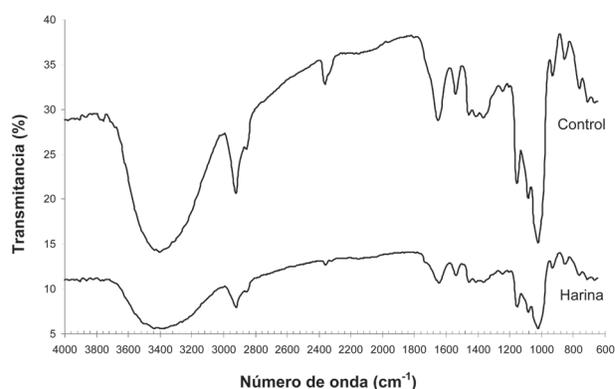
**Figura 3.** Perfil de formación de pasta obtenido mediante la técnica de micro-Viscoamilografía en la harina de avena y control. \*La línea de operación se refiere a las condiciones de programación del equipo.



Las propiedades de formación de pastas son influidas por la cantidad de componentes lixiviados de almidón (amilosa), por el contenido de lípidos presentes en el almidón y por la magnitud de la interacción entre las cadenas dentro del gránulo de almidón (Liu *et al.*, 2010). Diversos estudios han reportado que la cantidad de componentes no amiláceos (que no conforman o son parte del almidón, como la amilosa y la amilopectina), como son los tipos de fibra, pueden influir en el comportamiento final del perfil de formación de pastas (Doublie *et al.*, 1987; Liu *et al.*, 2006; Kaur y Singh, 2007). Recientemente, Ovando-Martínez *et al.* (2013) reportaron un comportamiento similar a nuestro estudio en muestras de harinas de avena desnuda (*Avena sativa* L. cv Ebeltoft). Para aplicaciones prácticas, estos resultados indicaron que la harina de avena puede ser utilizada en formulaciones alimenticias que requieran cierta textura y sin la presencia de gluten, como pueden ser algunos tipos de pudines y panes para enfermos celíacos.

**Caracterización molecular.** Este estudio es importante debido a que representa un método cualitativo y cuantitativo para la determinación de los componentes principales asociados a las estructuras, además de ser confiable y relativamente rápido (Olsen, 1990). El resultado del espectro de infrarrojo con transformada de Fourier mostró las bandas típicas de absorción características de la estructura del almidón y la presencia de otros materiales, lo cual corroboró que se trata de una muestra de harina con un porcentaje de almidón de  $\approx 70\%$  (Figura 4). Las bandas de absorción a  $3293\text{ cm}^{-1}$  son debidas al estiramiento vibracional de los enlaces O-H. Usualmente, el intervalo de absorción para la vibración del enlace O-H está localizado en los valores de  $3700\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ , pero en la muestra de la harina, el pico de estiramiento del enlace O-H cambió a una menor longitud de onda (Yaacob *et al.*, 2011). Esto se debió probablemente a que los enlaces de hidrógeno intermoleculares en el anillo glucosídico debilitaron el enlace O-H, por lo tanto cambiaron la región de la banda de absorción a una frecuencia menor, entre  $3400\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ .

**Figura 4.** Espectro de infrarrojo con transformada de Fourier de harina de avena y control.



La absorción débil a  $1627\text{ cm}^{-1}$  para la muestra control, probablemente son rasgos de las moléculas de agua fuertemente ligadas que están presentes en las moléculas de almidón. La señal encontrada en el número de onda de  $1333\text{ cm}^{-1}$  pertenece al estiramiento simétrico de  $-\text{CH}_2$ . Las amplias bandas de absorción en el intervalo de  $1100\text{--}990\text{ cm}^{-1}$ , son características del estiramiento C-O en la estructura C-O-C y en C-O-H del anillo glicosídico del almidón. Adicionalmente, las bandas amplias y las débiles encontradas en el intervalo de  $930\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ , son probables incrementos de las frecuencias en la deformación del enlace O-H y C-H, como reportaron Ahmad *et al.* (1999).

## Conclusiones

La harina del cereal de avena (cv. Bachiniva) presentó una alta cantidad de lípidos, proteínas, fibra dietaria y almidón. La temperatura y la entalpía de gelatinización fueron comparables con los valores reportados en otras variedades de avenas. El perfil amilográfico, la viscosidad y las propiedades funcionales indicaron una posible interacción entre los compuestos no amiláceos y el almidón, lo cual se corroboró con el análisis molecular. Debido a sus características fisicoquímicas, reológicas y funcionales, esta harina puede ser empleada en la industria alimentaria para la producción de pudines, formulaciones infantiles y panes para enfermos celíacos, lo cual la posicionan como un alimento de importancia nutritiva.

## Agradecimientos

Flavia Yadira Lozano Quezada agradece la beca otorgada por el CONACYT. Se agradece además al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Chihuahua, por financiar el presente trabajo, el cual forma parte del proyecto titulado: «Obtención de un alimento funcional a partir de almidón resistente por modificación física y química del almidón de avena cultivada en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua», con clave CHIH-2009-C02-126281. Agradecemos a la empresa «Avenas del Norte» localizada en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua por su generosa aportación del cereal de avena.

## Literatura citada

- AYADI, F., C. Bliard and P. Dole. 2011. Materials based on maize biopolymers: Effect of flour components on mechanical and thermal behavior. *Starch/Stärke* 63: 604-615.
- AHMAD, F., P. Williams, J. Doublier and S. Durand. 1999. Physicochemical characterization of sago starch. *Carbohydrate Polymers* 38: 389-416.
- ÅRMAN, P. 1987. The variation in chemical composition of Swedish oats. *Acta Agriculturae Scandinavica* 37: 347-352.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2002. Official Methods of Analysis. Gaithersburg, MA, USA.
- APARICIO-SAGUILÁN, A., E. Flores-Huicochea, J. Tovar, F. García-Suárez, F. Gutiérrez-Meraz and L. A. Bello-Pérez. 2005. Resistant starch –rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: Partial characterization. *Starch/Stärke* 57: 405-412.
- BELLO-PÉREZ, L. A., Y. Pano de León, E. Agama-Acevedo and O. Paredes-López. 1998. Isolation and partial characterization of amaranth and banana starches. *Starch/Stärke* 50: 409-413.
- BERSKI, W., A. Ptaszek, P. Ptaszek, R. Ziobro, G. Kowalski, M. Grzesik and B. Achremowicz. 2011. Pasting and rheological properties of oat starch and its derivatives. *Carbohydrate Polymers* 83: 665-671.
- CHÁVEZ-MURILLO, C. E., G. Méndez-Montealvo, Y. –J. Wang and L. A. Bello-Pérez. 2012. Starch of diverse Mexican rice cultivars: Physicochemical, structural, and nutritional features. *Starch/Stärke* 64: 745-756.
- DIKEMAN, C. L. and G. C. Fahey. 2006. Viscosity as related to dietary fiber: A review. *Critical Reviews in Food Science Nutrition* 46(8): 649-663.
- DOUBLIER, J. L., D. Paton and G. Llamas. 1987. A rheological investigation of oat starch pastes. *Cereal Chemistry* 64(1): 21-26.
- FOX, E., K. Shotton and C. Ulrich. 1995. Sigma-Stat: Manual del usuario, versión 2.1 para Windows 95 NT y 3.1. Editorial Jandel Scientific Co. EUA.
- GALDEANO, M., M. V. E. Grossman, S. Mali and L. A. Bello-Pérez. 2009. Physicochemical properties of IAC 7 oat starch from Brazilian cultivars. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 29(4): 905-910.
- GLENNIE-HOLMES, M., G. L. Roberts and T. S. Gibson. 1992. Starch characteristics of Australian oat cultivars. In: Barr A.R. (ed.). Proceedings 4<sup>th</sup> International Oat Conference Adelaide, South Australia. 31 p.
- GOÑI, I., A. García-Alonso and F. Saura-Calixto. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutritional Research* 17: 427-437.
- HALLFRISCH, J. and K. M. Behall. 2000. Mechanisms of the effects of grains on insulin and glucose response. *Journal of the American College of Nutrition* 19: 320S-325S.
- HARTUNIAN-SOWA, M. and White, P. J. 1992. Characteristics of starch isolated from oats groats with different amount of lipid. *Cereal Chemistry* 68: 172-177.
- HOOVER, R. and S. P. J. N. Senanayake. 1996. Composition and physicochemical properties of oat starches. *Food Research International* 29(1): 15-26.
- HOOVER, R. and W. S. Ratnayake. 2003. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry* 78: 489-498.
- HOOVER, R., C. Smith, Y. Zhou and R. M. W. S. Ratnayake. 2003. Physicochemical properties of Canadian oat starches. *Carbohydrates Polymers* 52(1): 253-261.
- HOOVER, R., T. Hughes, H. J. Chung and Q. Liu. 2010. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International* 43: 399-413.
- HUIJBRECHTS, A. M. L., M. Desse, T. Budtova, M. C. R. Franssen, G. M. Visser, C. G. Boeriu and J. R. E. Sudh-Iter. 2008. Physicochemical properties of etherified maize starches. *Carbohydrate Polymers* 74: 170-184.
- KAUR, M. and N. Singh. 2007. Relationships between various functional, thermal and pasting properties of flours from different Indian black gram (*Phaseolus mungo* L.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 974-984.
- LIU, Q., E. Donner, Y. Yin, R. L. Huang and M. Z. Fan. 2006. The physicochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers and legumes grown in China. *Food Chemistry* 99(3): 470-477.
- LIU, Y., T. H. Bailey and P. J. White. 2010. Individual and interactional effects of  $\alpha$ -glucan, starch, and protein on pasting properties of oat flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 9198-9203.
- MORRIS, P. C. and J. H. Bryce. 2000. Cereals: an introduction. In: P.C. Morris and J.H. Bryce (eds.). *Cereal biotechnology*. CRC Press, Boca Raton, Florida. p. 7.
- MUA, J. P. and D. S. Jackson. 1995. Gelatinization and solubility properties of commercial oat starch. *Starch/Stärke* 47(1): 2-7.
- NODA, T., Y. Takahata, T. Sato, I. Suda, T. Morishita, K. Ishiguro and O. Yamakawa. 1998. Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and Buckwheat. *Carbohydrates Polymer* 37: 153-158.
- OLADEBEYE, A. O., A. A. Oshodi and A. A. Oladebeye. 2009. Physicochemical properties of starches of sweet potato (*Ipomea batata*) and red cocoyam (*Colocasia esculenta*) cormels. *Pakistan Journal of Nutrition* 8(4): 313-315.
- OLSEN, E. D. 1990. Métodos Ópticos de Análisis. Editorial Reverté, S.A. 678 p.
- OVANDO-MARTÍNEZ, M., K. Whitney, B. L. Reuhs, D. C. Doehlert and S. Simsek. Effect of hydrothermal treatment on physicochemical and digestibility properties of oat starch. *Food Research International* 52: 17-25.
- PAREDES-LÓPEZ, O., L. A. Bello-Pérez and M. G. López. 1994. Amylopectin: Structural gelatinization and retrogradation studies. *Food Chemistry* 50: 411-418.
- PATON, D. 1977. Oat starch 1. Extraction, purification and pasting properties. *Starch/Stärke* 29(5): 149-153.
- PATON, D. 1979. Oat starch: Some recent developments. *Starch/Stärke* 31(6): 184-187.

- REGAND, A., Z. Chowdhury, S. M. Tosh, T. M. S. Wolever and P. Wood. 2011. The molecular weight, solubility and viscosity of oat beta-glucan affect human glycemic response by modifying starch digestibility. *Food Chemistry* 129: 297-304.
- RIEDER, A., S. Ballance and S. H. Knutsen. 2015. Viscosity based quantification of endogenous  $\alpha$ -glucanase activity in flour. *Carbohydrate Polymers* 115: 104-111.
- SAGARPA. 2010. Producción Agrícola. Servicio de Formación Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). [En línea]. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx>. Accesado el 20 de Febrero del 2013.
- SALMERÓN, Z. J. J. 2002. Bachiniva: nueva variedad de avena para temporal con grano de alta calidad industrial. *Agricultura Técnica en México* 28(1): 85-86.
- STEFFE, J. F. 1992. Rheological Methods in the Food Process Engineering. Freeman Press. East Lansing. Michigan. 418 p.
- TESTER, R. F. and J. Karkalas. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry* 78: 271-273.
- THEBAUDIN, J. Y., A. C. Lefebvre and J. L. Doublier. 1998. Rheology of starch pastes from starches of different origins: Applications to starch-based sauces. *LWT Food Science and Technology* 31: 354-360.
- VON ATZINGEN, M. C. and M. E. Silva Machado Pinto. 2005. Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4(5): 319-323.
- WALPOLE, E. R., H. R. Myers y L. S. Myers. 1999. Probabilidad y estadística para ingenieros. Sexta Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México. 482 p.
- WANG, L. Z. and P. J. White. 1994. Functional properties of oats starches and relationships among functional and structural characteristics. *Cereal Chemistry* 71(5): 451-458.
- WELCH, R. W. 1995. Oats in human nutrition and health. In: R. W. Welch (ed.). *The oat crop: production and utilization*. Chapman and Hall, London, UK. p. 433-471.
- WOOD, P. J. 2007. Cereal  $\alpha$ -glucans in diet and health. *Journal of Cereal Science* 46: 230-238.
- WOOD, P. J., J. T. Braaten, F. W. Scott, K. D. Riedel, M. S. Wolynetz and M. W. Collins. 1994. Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *British Journal of Nutrition* 72(5): 731-743.
- YACOUB, B., M. C. I. Mohd Amin, K. Hashim and B. A. Bakar. 2011. Optimization of reaction conditions for carboxymethylated sago starch. *Iranian Polymer Journal* 20(3): 195-204.
- ZARZYCKI, P. and A. Sobota. 2015. Effect of Ph on apparent viscosity of wholemeal oat flour water dispersions. *International Journal of Food Properties* 18: 303-315.
- ZELEZNAK, K. J. and R. C. Hosney. 1987. The glass transition in starch. *Cereal Chemistry* 64: 121-124. 

---

Este artículo es citado así:

Flores-Peña, F., F. Y. Lozano-Quezada, A. Ramos-Martínez, R. Salgado-Delgado, V. M. Guerrero-Prieto, S. Ramírez-Mancinas, L. A. Bello-Pérez y P. B. Zamudio-Flores. 2014. Caracterización fisicoquímica, reológica y funcional de harina de avena (*Avena sativa* L. cv Bachiniva) cultivada en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. *TECNOCENCIA Chihuahua* 8(3): 152-162.

## Resumen curricular del autor y coautores

**FERNANDO FÉLIX FLORES PEÑA.** Cursó la carrera de Ingeniero en Industrias Alimentarias en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc (ITCC). Realizó su residencia profesional y posteriormente la tesis de Licenciatura en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) en la Unidad Cuauhtémoc, Chihuahua bajo la dirección del Dr. Paul Baruk Zamudio Flores, con la tesis titulada Obtención de harina de avena variedad Bachiniva cultivada en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: Aislamiento y caracterización parcial de su almidón. Estudió la Maestría en Ciencias en Fisiología de Plantas en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (FACIATEC) en el Campus Cuauhtémoc, bajo la dirección del Dr. Víctor Manuel Guerrero Prieto.

**JUAN MANUEL TIRADO GALLEGOS.** Realizó estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila, obteniendo el título de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos en el año 2004. Ha impartido cátedras docentes en la UAAAN (2009). Terminó la Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico de Veracruz, en el 2011. En el año 2012 ingreso a estudiar el Doctorado en Ciencias en el laboratorio de Carbohidratos, Empaques y Alimentos Funcionales (CEAF) en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD) Unidad Cuauhtémoc. Ha colaborado en 4 artículos científicos como coautor y como asesor en 1 tesis de licenciatura.

**ARTURO RAMOS MARTÍNEZ.** Realizó sus estudios en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc (ITCC), Cuauhtémoc, Chihuahua, obteniendo el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias en el año 2012. Se incorporó en el año 2009 a laborar en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) Unidad Cuauhtémoc donde es técnico del laboratorio de Carbohidratos, Empaque y Alimentos Funcionales (CEAF). Ha colaborado en 2 artículos científicos como coautor, y en 4 artículos científicos, 11 tesis de licenciatura y dos de maestría apareció en agradecimientos. Ha sido evaluador y representante del CIAD-Cuauhtémoc en el Instituto de Apoyo al Desarrollo Tecnológico (INADET).

**RENÉ SALGADO DELGADO.** Terminó su licenciatura en 1994, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero químico por el Instituto Tecnológico de Zacatepec perteneciente a la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST). Realizó la Maestría en Ciencias en Química en el Instituto Tecnológico de Tijuana en el área de Polímeros en 1999 y Obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro en el 2003. Desde 1994 labora dentro del Sistema de Institutos Tecnológicos habiendo impartido cátedras docentes (1994: Instituto Tecnológico de Zacatepec, 1997: Instituto Tecnológico de Tijuana, 1999: Instituto Tecnológico de Querétaro, y a partir del 2002 se reincorpora nuevamente al Departamento de Posgrado del Instituto Tecnológico de Zacatepec y posee la categoría Profesor Investigador de tiempo Completo titular "C". Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde el 2003 (candidato: 2003; Nivel 1: actualmente). Su área de especialización (Licenciatura: Análisis Instrumental; Maestría: Polímeros; Doctorado: Materiales compuestos y aleaciones poliméricas). Ha dirigido 15 tesis de licenciatura, 5 de maestría y 3 de doctorado. Es autor de 15 artículos científicos, más de 20 ponencias en congresos, y 1 capítulo de libros científicos; además ha impartido 20 conferencias por invitación y ha dirigido 5 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos Institucionales, mixtos y sectoriales) y es árbitro de 2 revistas científicas una de circulación nacional y otra de circulación internacional.

**VÍCTOR MANUEL GUERRERO PRIETO.** Terminó su licenciatura en 1975, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Floricultor por la ahora Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH. Realizó su posgrado en la Oregon State University en Corvallis, OR. EUA, donde obtuvo el grado de Master of Science en Horticultura en 1984 y el grado de Doctor en Ciencias en Agronomía por la New México State University en Las Cruces, N.M. EUA, en 1995. En el año 2011, se reincorporó a FACIATEC en el campus Cuauhtémoc, Chihuahua y posee la categoría de Profesor-Investigador ATA. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1986 a 1990 (Candidato a Investigador Nacional) y actualmente es Investigador Nacional Nivel I, desde el 2002. Su área de especialización es la fisiología vegetal y de poscosecha, así como el control biológico de enfermedades poscosecha utilizando microorganismos. Ha dirigido 14 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 6 de doctorado. Es autor de 37 artículos científicos, más de 60 ponencias en congresos, 1 libro y 2 capítulos de libro científicos; además ha impartido 9 conferencias por invitación y ha dirigido 7 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador RCEA de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales), Fundación Produce Chihuahua, es revisor del seguimiento de los Fondos sectoriales SAGARPA-CONACYT y del CyTED, Madrid, España y es árbitro de 9 revistas científicas de circulación nacional e internacional.

**PAUL BARUK ZAMUDIO FLORES.** Realizó sus estudios de Licenciatura en el Instituto Tecnológico de Acapulco, Acapulco (ITA), Guerrero, obteniendo el título de Ingeniero Bioquímico en el año 2000. Terminó los estudios de Maestría en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI), perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, en Yauhtepec, Morelos, en el 2005. En el año 2008 recibió el grado de Doctor en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos por el CEPROBI-IPN en Yauhtepec, Morelos. Durante su trayectoria académica ha obtenido múltiples reconocimientos por alto desempeño académico. Ha sido distinguido por el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del CONACYT como Investigador Nacional Nivel 1 desde el año 2010 a la fecha. Ha tenido una importante productividad científica, que incluye la publicación de 28 artículos científicos en revistas internacionales, así como la publicación de diversos artículos de divulgación y capítulos de libros de editoriales internacionales reconocidas. Es evaluador RCEA de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales), y es árbitro de 6 revistas científicas indicadas de circulación nacional e internacional. Actualmente es Investigador del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) Unidad Cuauhtémoc, donde es responsable del laboratorio y líder del Grupo de Investigación (GI) en Carbohidratos, Empaque y Alimentos Funcionales (CEAF). Su área de investigación se enfoca en carbohidratos, empaques y alimentos funcionales.

# Interacción de bioproductos como alternativas para la producción horticultura cubana

## Interaction of bioproducts as alternatives for Cuban horticulture production

ELEIN TERRY-ALFONSO, JOSEFA RUIZ-PADRÓN, TAMARA TEJEDA-PERAZA, INÉS REYNALDO-ESCOBAR, YUDINES CARRILLO-SOSA Y HUGO ARMANDO MORALES-MORALES

*Recibido: Noviembre 1, 2014*

*Aceptado: Febrero 13, 2015*

### Resumen

Con el propósito de promover el desarrollo tecnológico para incrementar la productividad agrícola, aprovechar los recursos locales y disminuir los efectos negativos sobre el medio ambiente de los agroinsumos sintéticos, se han implementado múltiples alternativas en Cuba dentro de las cuales destaca la utilización de bioproductos que han demostrado su efectividad biológica en diferentes cultivos. En la presente investigación se estudiaron seis bioproductos, dos biofertilizantes y cuatro bioestimulantes. Los biofertilizantes fueron una micorriza (HMA), y una rizobacteria (DCA). Los bioestimulantes fueron el estimulante del crecimiento vegetal (RPCV), el extracto de vermicompost (EV), y una mezcla de oligogalacturonido (MOG) con un análogo de brasinoesteroides (AB), para lo cual se evaluó sistemáticamente el efecto biológico en la germinación, crecimiento, desarrollo y rendimiento de tres cultivos modelo, tomate, lechuga y habichuela. La investigación fue dividida en dos etapas, I: efecto biológico en la germinación de semillas, experimento desarrollado bajo un diseño completamente aleatorizado con 10 tratamientos y tres repeticiones y II: efecto aditivo de los bioproductos y su influencia en las plantas, en el cual se desarrollaron tres experimentos de campo con aplicaciones simples y combinadas de los productos estudiados. Los resultados indican que el EV acelera el proceso de germinación de las semillas, además se observó un efecto aditivo de los bioproductos, con un incremento del rendimiento en un 20% en lechuga, 30% en habichuela y 50% en tomate. Al parecer, este efecto aditivo depende del mecanismo de acción de los diferentes bioproductos (biofertilizantes y bioestimulantes), los cuales deben ser aplicados a los cultivos en diferentes etapas fenológicas de los cultivos.

**Palabras clave:** bioproductos, hortalizas, crecimiento, desarrollo, rendimientos.

### Abstract

In order to promote the technological development to increase agricultural productivity, leverage local resources and reduce the negative effects on the environment of the synthetic agricultural supplies, many alternatives have been implemented in Cuba, within which highlights the use of bioproducts which have demonstrated their biological effectiveness in different crops. In the present investigation, six bioproducts: two biofertilizers, and four bio stimulants were studied. Biofertilizers were a mycorrhizal (HMA) and a rizobacteria (DCA). The bio stimulants were stimulating plant growth (RPCV), vermicompost extract (EV), and a mixture of oligogalacturonide (MOG) with an analogue of brassinosteroids (AB). The biological effect of bioproducts on germination, development and yield of three crops models: tomato, lettuce, and green bean were systematically evaluated. The study was divided in two stages. I: biological effect on seed germination experiment developed under a completely randomized design with 10 treatments and three replications, and, II: additive effect of the bioproducts and its influence on plants, in which three field experiments were developed with simple and combined applications of the products studied. The results indicate that the VE accelerates seed germination, in addition an additive effect of the bioproducts was observed, with an increase in yield by 20% in lettuce, 30% in green bean and 50% in tomato. Apparently this additive effect depends on the mechanism of action of various bioproducts (bio-fertilizers and bio stimulants), which should be applied to crops at different phenological stages of crops.

**Keywords:** bioproducts, vegetables, growth, development, yield.

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Carretera Tapaste, km 3 ½. San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba. C.P. 32700. Correo-e: terry@inca.edu.cu. Teléfono(00) 53 47861273.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Cd. Delicias Carretera a Rosales km 2 ½. Chihuahua, México. C.P. 33000. Teléfono +52 (639) 114 67 96.

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: hmoraes@uach.mx.

## Introducción

Los bioproductos (BP) están constituidos por un amplio grupo de biofertilizantes, bioestimulantes y bioplaguicidas, y son el resultado de la aplicación de la biotecnología que transforma la biomasa (cultivos de no alimentación, masa forestal, residuos vegetales, etc.) en insumos agrícolas, su empleo en la producción de alimentos ha cobrado importancia a escala mundial, pues forman parte de la agricultura ecológica como apoyo en el proceso de reconversión agrícola (Ramos *et al.*, 2013).

Los BP son un componente básico de los sistemas sustentables por su contribución en la reducción de insumos externos, por mejorar la calidad y cantidad de los recursos internos, y por su inocuidad; además, pueden ser generados a partir de recursos locales y promover el desarrollo regional endógeno (Jay *et al.*, 2011; Doyle y Erickson, 2012).

Como estrategia de desarrollo, el Movimiento de la Agricultura Urbana en Cuba promueve el incremento de la productividad agrícola en armonía con el medio ambiente, este modelo de agricultura motiva la no utilización de productos químicos como fertilizantes minerales y plaguicidas, iniciándose a partir de la década de los 90 la investigación y el desarrollo de productos alternativos vinculados con la nutrición, estimuladores del crecimiento vegetal y biocontroles de patógenos, lo que ha generado una diversidad de productos con diferentes mecanismos de acción (Fernandez-Larrea, 2013). Entre estos BP pueden mencionarse los siguientes:

*Análogos de Brasinoesteroides (AB)*: generan desde muy temprano interés práctico en la agricultura, debido a sus efectos como estimuladores del crecimiento vegetal.

*Derivado de la caña de azúcar (DCA)*: Producto antiestrés con sustancias naturales propias del metabolismo vegetal, que estimula y vigoriza prácticamente cualquier cultivo, desde la germinación hasta la fructificación.

*Rizobacterias (RECV)*: *Azotobacter chroococcum*. Sustituye entre 30 a 40% el fertilizante nitrogenado e incrementa los rendimientos, porque aumentan el número de

flores y frutos en los distintos cultivos por la acción de las sustancias activas que son capaces de sintetizar.

*Micorrizas (HMA)*: biofertilizante obtenido a partir de Hongos Micorrízicos Arbusculares (*Glomus cubense*), capaz de sustituir parcialmente las necesidades nutricionales de las plantas.

*Extracto de vermicompost (EV)*: obtenido a partir del humus líquido, demostrándose la respuesta de las plantas manifestadas en una mayor concentración de nutrientes y estímulos en el crecimiento y rendimiento agrícola.

*Oligogalacturónidos (MOG)*: son polímeros y oligómeros de quitosana que pueden tener una amplia aplicación agrícola a partir de las potencialidades biológicas que demuestran estos compuestos, como la promoción del crecimiento y desarrollo de las plantas.

Aun cuando se cuenta con esta amplia gama de bioproductos, ha sido reducido el número de investigaciones realizadas en el país encaminadas a la evaluación de los mismos en diferentes cultivos y modelos productivos, los cuales requieren con prontitud la implementación de alternativas que permitan una producción basada en la utilización de productos nacionales.

Las investigaciones desarrolladas en estudios precedentes se han enfocado hacia la evaluación de manera individual de cada bioproducto, quedando como interrogante de investigación el efecto aditivo que pueden tener una vez que se combinen bioproductos con diferentes mecanismos de acción en los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas.

Por tanto, el objetivo general del presente trabajo fue estudiar el efecto de bioproductos nacionales para evaluar su efectividad en la germinación, crecimiento, desarrollo y rendimiento en tres cultivos representativos de la horticultura cubana.

## Materiales y métodos

Los experimentos se desarrollaron en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), situado en San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba, en los años 2012 y 2013. Para el desarrollo de la investigación se tuvieron en cuenta un total de cuatro experimentos, los que se describen a continuación.

*Experimento I. Efecto aditivo del extracto de vermicompost (EV) en la germinación.* Se seleccionó este BP por ser el de mayor acceso en la agricultura cubana; para determinar su efecto en semillas de lechuga, se siguió la metodología descrita por Arancon *et al.* (2012). Se prepararon 10 diluciones (desde 1/10 a 1/100) y un control en agua común mediante el pipeteo de 2.5 ml de extracto de vermicompost de estiércol vacuno y su complemento con agua en una probeta de 250 ml hasta la cantidad adecuada para cada dilución.

Las diluciones fueron agitadas y vertidas en recipientes de cristal, donde posteriormente fueron embebidas 60 semillas durante 45 minutos. Se realizó la siembra en placas petri a razón de 20 semillas por placa. Se siguió un diseño completamente aleatorizado y se emplearon tres placas petri por tratamiento, constituyendo cada placa, una repetición. Estas se mantuvieron en la oscuridad y se evaluó diariamente el total de semillas germinadas durante siete días, tomándose como criterio de germinación la emisión de la radícula. Se calculó, para cada evaluación (cinco y siete días), el porcentaje de germinación (considerando las semillas germinadas sobre el total de la muestra-%), cuyos datos fueron transformados mediante la fórmula  $\arcsin \sqrt{\%}$  para realizar el análisis estadístico. Se calculó

además el índice de velocidad de germinación (IVG) según Maguire (1962) mediante la fórmula:

$$IVG = \sum \left( \frac{ni}{ti} \right)$$

Donde:

IVG = índice de velocidad de germinación

ni = número de semillas germinadas

ti = tiempo necesario para alcanzar el mayor porcentaje de germinación

*Experimento II, III y IV:* efecto aditivo de HMA con MOG, EV Y AB en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de lechuga (II), HMA con EV y RECV en habichuela (III) y HMA con MOG, EV y AB en tomate (IV).

Los BP se aplicaron de la siguiente forma: HMA (250 esporas.g de suelo<sup>-1</sup>, por recubrimiento de semillas según el 10% del peso, Fernández *et al.*, 2000), MOG (344 mg·ha<sup>-1</sup>, recomendado por Izquierdo *et al.*, 2009a), EV (1 L·ha<sup>-1</sup>, según Calderín, 2012), DCA (1 L·ha<sup>-1</sup>, de acuerdo con García *et al.*, 2012), RECV (1 L·ha<sup>-1</sup> con un título 10<sup>8</sup> ufc·L<sup>-1</sup>, según León *et al.*, 2012) y AB (20 mg·ha<sup>-1</sup>, según Núñez *et al.*, 2013), comparados con un control de producción a partir del solo uso de abono orgánico (estiércol vacuno) sin la aplicación de los BP. Las aspersiones foliares se realizaron en horario temprano de la mañana (8:00 a 9:00 am) para aprovechar la apertura estomática en las hojas de las plantas, y se hicieron manualmente utilizando una mochila de 16 litros de capacidad, teniendo en cuenta un gasto de agua de 250 L·ha<sup>-1</sup>.

En los tres experimentos, cada tratamiento se distribuyó bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, en canteros de un metro de ancho por 20 metros de largo, ocupando cada tratamiento cinco metros, las labores culturales a cada cultivo, se realizaron según las recomendaciones del Manual de organopónico y huertos intensivos (INIFAT, 2007).

En la lechuga se utilizó el cultivar 'BSS-1'. Los tratamientos estudiados en combinación con los bioproductos fueron: 1. HMA- MOG, 2. HMA- EV, 3. HMA- AB, 4. Control (sólo abono orgánico). A los siete días de germinadas las semillas (12 días después de la siembra), se procedió a realizar la primera aplicación foliar, y la segunda a los 10 días después del trasplante (30 días después de la siembra), según resultados de Núñez (2014). A los 20 y 30 días de la germinación, a 15 plantas por tratamiento, fueron realizadas evaluaciones de crecimiento tales como: número de hojas por planta, longitud radical (cm) y masa fresca y seca de las plantas (g) solo a los 30 días.

En la habichuela (cultivar 'Verlili'), la siembra se realizó a una distancia de 0.70 x 0.15 m; los tratamientos simples y combinados de los bioproductos fueron: 1. HMA + DCA; 2. HMA + EV; 3. HMA + RECV; 4. HMA; 5. DCA; 6. EV; 7. RECV; 8. Control de producción (solo abono orgánico). A los siete días de germinadas las semillas (10 días después de la siembra) se realizó la primera aplicación de los BP, y la segunda a los 10 días posteriores a la primera (20 días después de la siembra) según resultados de Álvarez *et al.* (2011). A los 10 y 30 días de la segunda aplicación (30 y 50 días de la siembra), a una muestra de 15 plantas por tratamiento, se les realizaron evaluaciones de crecimiento tales como: número de hojas, longitud radical (cm) y masa fresca y seca de las plantas (g). Al final del ciclo del cultivo, se evaluaron las variables masa fresca de 10 vainas, largo y ancho de cada vaina, así como la estimación del rendimiento en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ .

En el cultivo del tomate se obtuvieron las posturas en un semillero tradicional a cielo abierto, realizándose el trasplante en parcelas de 25  $\text{m}^2$  en bloques al azar con cuatro réplicas. Los tratamientos en estudio fueron: 1. Control (sin bioproducto); 2. HMA – MOG; 3. HMA – AB; 4. HMA – EV. A los 15 días después de germinado, se realizó la primera aplicación de

los BP y la segunda a los 15 días después de trasplantado (Álvarez *et al.*, 2011). La primera evaluación en semillero fue a los siete días después de aplicado cada producto y otras dos evaluaciones después de realizada la segunda aplicación en la fase de campo. Las evaluaciones realizadas fueron: diámetro del tallo (cm), altura de las plántulas (cm), número de hojas, número de flores, número de racimos, y número de frutos por planta, así como también se estimó el rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{planta}^{-1}$ ).

*Del análisis estadístico.* Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente a través de un Análisis de Varianza (ANOVA simple y doble) y a las medias se les aplicó la Prueba de Tukey (95%), para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. Se utilizó el programa Statgraphics Centurion (2013).

## Resultados y discusión

*Etapas 1.* Efecto del extracto de vermicompost (EV) en la germinación de semillas de lechuga.

En el Cuadro 1 se muestra el efecto del producto EV en la germinación e índice de germinación de semillas de lechuga, obteniéndose un comportamiento significativamente diferente ( $p \leq 0.05$ ) para las distintas diluciones estudiadas. En ambas evaluaciones fueron superiores las diluciones de 1/10 y 1/20, los cuales alcanzaron el mayor porcentaje de las semillas germinadas con respecto al tratamiento control. Se aprecia que en la medida en que ocurre la mayor dilución del producto, el porcentaje de germinación va siendo inferior. En este sentido, es una cadena de acontecimientos metabólicos que suceden de forma escalonada en la absorción intensa de agua por parte de la semilla y de la actividad respiratoria, efectos que son producidos por la bioestimulación provocada al aplicarse sustancias húmicas a las semillas (Maylew, 2004).

**Cuadro 1.** Efecto del EV sobre la germinación de semillas de lechuga a los cinco y siete días después de la germinación.

Tratamiento	Porcentaje de germinación (%)		Índice de Velocidad de Germinación (IVG)	
	1ra. evaluación	2da. evaluación	1ra. evaluación	2da. evaluación
1/10	56.7 a	46.7 a	2.26 a	1.87 a
1/20	41.7 b	36.7 ab	2.00 b	1.47 ab
1/30	50.0 a	32.0 b	1.66 c	1.33 b
1/40	41.7 b	33.3 b	1.66 c	1.27 bc
1/50	31.7 c	33.3 b	1.26 d	1.33 b
1/60	26.7 cd	33.3 b	1.06 de	1.33 b
1/70	31.7 c	23.7 c	1.66 c	1.33 b
1/80	23.3 d	21.7 c	0.93 e	1.20 bc
1/90	31.7 c	24.0 c	1.67 c	1.20 bc
1/100	28.3 cd	23.3 c	1.13 de	0.87 c
Control	28.3 cd	23.3 c	1.13 de	1.13 bc
ESx	0.02 *	0.04 *	0.08 *	0.13 *

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Tukey para  $p \leq 0.05$ . ESx: error estándar de la media.

En el caso del largo del hipocotilo y de la radícula (Cuadro 3), tuvieron un comportamiento similar en la primera evaluación y no así en la segunda, donde fueron más marcadas las diferencias entre las diluciones estudiadas, donde el largo del hipocotilo es similar desde la dilución de 1/10 a 1/70; sin embargo, la radícula tuvo mayor crecimiento en la dilución de 1/10 y 1/50; por lo tanto, el comportamiento de ambas variables se estimula con estas dos últimas diluciones con resultados similares, por lo que concentraciones bajas o intermedias del bioproducto tienden a estimular la elongación celular en lo que influye la composición mineral del producto.

Se estimula el crecimiento de la radícula siendo el primer elemento embrionario en brotar a través de la envoltura de la semilla; también se incrementa el largo del hipocotilo, el cual empuja la plúmula y, en muchos casos, el cotiledón o los cotiledones hacia la superficie del suelo (Canellas *et al.*, 2010), todo lo cual permite un mejor crecimiento de las plantas en las fases posteriores.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es evidente el efecto significativo del EV en el estímulo del proceso de germinación de las semillas, lo que permite inferir que su acción está relacionada con la composición del producto, el cual tiene 36.2% en Contenido de Materia Orgánica, de este, el 25.82% es de extracto húmico total, contiene hormonas del tipo auxinas (AIA, AIP) con 0.5-2 mg/L, giberelinas ( $GA_3$ ) con 0.5-2 mg.L<sup>-1</sup>, citoquininas (adenina) con 0.01-0.5 mg/L, ocho aminoácidos libres (9.33 mg.L<sup>-1</sup>) y 12 elementos minerales (3637.02 mg.L<sup>-1</sup>) según publica Arteaga (2007) al caracterizar este bioproducto.

**Cuadro 2.** Efecto del EV en plántulas de lechuga al quinto y séptimo día después de la emergencia de la radícula.

Tratamiento	Primera evaluación		Segunda evaluación	
	Largo del hipocotilo (cm)	Largo de la radícula (cm)	Largo del hipocotilo (cm)	Largo de la radícula (cm)
1/10	2.9 ab	2.58 ab	2.82 ab	3.52 a
1/20	3.16 a	2.62 ab	3.16 a	2.0 cde
1/30	2.9 ab	2.64 ab	2.54 bc	2.5 bcd
1/40	2.82 abc	2.64 ab	2.94 ab	2.66 b
1/50	2.7 abc	2.68 a	2.82 ab	2.94 ab
1/60	2.3 c	2.42 ab	2.5 bc	2.66 b
1/70	2.5 bc	2.04 b	2.84 ab	2.52 bc
1/80	2.71 abc	2.56 ab	1.54 e	1.44 e
1/90	2.8 abc	2.48 ab	2.18 cd	1.88 de
1/100	2.44 bc	2.84 a	1.9 de	1.99 cde
Control	2.52 bc	2.24 ab	1.58 e	1.56 e
ESx	0.18 *	0.22 *	0.18 *	0.22 *

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Tukey para  $P \leq 0.05$ . ESx: error estándar de la media.

Igualmente, la actividad de varias enzimas influyen en la descomposición de los nutrientes almacenados en el endospermo o en los cotiledones, convirtiéndolos en sustancias más sencillas que son transportadas por el interior del embrión hacia los centros de crecimiento (Muscolo *et al.*, 2007, citado por Hernández *et al.*, 2012) al realizar trabajos similares en el

cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*). Por otra parte, en el proceso de la imbibición de las semillas se producen una serie de compuestos intermediarios del metabolismo vegetal, que son necesarios para la intensa actividad metabólica que tiene lugar durante la germinación; estudios realizados por Wang *et al.* (2010) en el cultivo del tomate, obtuvieron que cuando la semilla está seca, muestra una escasa actividad respiratoria, aumentando el consumo de O<sub>2</sub>, después de iniciada la imbibición.

Estos efectos de conjunto pudieron manifestarse en los resultados obtenidos en este experimento, donde fue potenciado el efecto germinativo de las semillas a partir de su imbibición en el extracto de vermicompost, el cual desencadenó procesos estimulativos en esta fase fisiológica.

*Experimento II, III y IV:* efecto aditivo de HMA con MOG, EV Y AB en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de lechuga (II), HMA con EV y RECV en habichuela (III) y HMA con MOG, EV y AB en tomate (IV).

En el Cuadro 3 se muestra el efecto de HMA en combinación con MOG, EV y AB en algunas variables del crecimiento de la lechuga, en la evaluación realizada a los 30 días posteriores a la germinación de las semillas; obteniéndose diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en los tratamientos entre sí, con un comportamiento similar en cada año de estudio. La respuesta del crecimiento de las plantas fue superior con la combinación HMA-AB, en comparación a cuando se combina la micorriza con EV y MOG. Diferentes estudios han demostrado la efectividad de la combinación de los HMA con otros bioproductos con los cuales se logra reducir la fertilización mineral requerida por un cultivo para una correcta nutrición, y a la vez se estimula el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Un ejemplo lo constituye la respuesta del cultivo de guayaba a la aplicación combinada HMA – *Azotobacter* sp. – *Bacillus* sp. – Fitomas (estimulador) en el cultivo de la guayaba (Ramos *et al.*, 2013) o los obtenidos por Corbera y Nápoles (2010) en el cultivo de la soya al combinar HMA – *Bradyrhizobium* – Pectimorf (estimulador).

**Cuadro 3.** Efecto de la combinación HMA con MOG, EV y AB en el crecimiento de las plántulas de lechuga a los 30 días posteriores a la germinación.

Tratamiento	No. de hojas·planta <sup>-1</sup>		Masa fresca·planta <sup>-1</sup> (g)		Masa seca·planta <sup>-1</sup> (g)		Longitud radical·planta <sup>-1</sup> (cm)	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
1. Micorriza - Mezcla Oligogalacturónico	8.12b	8.11b	10.06b	9.56b	0.67b	0.65b	8.07b	8.22b
2. Micorriza – Extracto Vermicompost	7.03c	7.15c	9.24c	9.24b	0.62c	0.62b	8.14b	8.14c
3. Micorriza– Análogo Brasinoesteroide	9.24a	9.11a	11.28a	11.25a	0.77a	0.76a	8.46a	8.63a
4. Control	6.14d	6.20d	7.12d	7.11c	0.47d	0.49c	6.25d	6.73d
Esx	0.02*	0.01	0.01*	0.14*	0.009*	0.008*	0.01*	0.01*
CV (%)	15.7	14.6	16.6	16.5	17.5	15.9	11.5	9.32

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Tukey para  $P \leq 0.05$ . ESx: error estándar de la media, CV: coeficiente de variación.

No obstante, se destaca MOG y EV que también responden positivamente en la respuesta del crecimiento de las plantas; por tanto, los tres BP demuestran su efectividad en el estímulo del crecimiento al diferir del tratamiento control y superarlo entre un 30 al 40% para cada una de las variables evaluadas.

En el caso específico del AB, en su efecto positivo en las plantas se han descrito resultados como los de Capote *et al.* (2009) donde en el cultivo de la *Vriesea sp.*, el análogo de brasinoesteroide estudiado, estimuló la formación de raíces y el número de hojas de las plantas, lo cual presupone un efecto sinérgico o aditivo con las auxinas en dicho proceso. Estudios realizados en el cultivo del arroz en condiciones de salinidad por Núñez *et al.* (2013), demostraron que el análogo Biobras-16 actúa favorablemente al revertir parcialmente la inhibición que en el crecimiento de las plantas provocó la presencia de NaCl; demostrándose la capacidad que tienen los mismos de estimular los rendimientos agrícolas, así como sus potencialidades antiestrés.

En cambio, los estudios con oligogalacturónidos y sus efectos en el crecimiento y desarrollo de las plantas han sido menos abordados; no obstante, en algunas especies de plantas ha quedado demostrado que los diferentes tejidos son sensibles a los oligogalacturónidos. Entre las respuestas observadas después de la adición de esta sustancia están las llamadas explosiones oxidativas, que ocurren unos minutos después de la adición de los oligogalacturónidos, como ha sido demostrado en los cultivos de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), tomate (*Solanum lycopersicon* L.) y soya (*Glycine max* L.) por Mederos y Hormanza (2008); y también en el cultivo de la alfalfa por Camejo *et al.* (2010). Por otra parte, se considera que estos son efectivos en los procesos morfogénicos tanto *in vitro* como *ex vitro*, pero la respuesta de los cultivos dependen del tipo de oligogalacturónido que se utilice dependiendo del grado de polimerización, la concentración del mismo y su interacción con las hormonas endógenas de los explantes, según resultados obtenidos por Izquierdo (2009a,

2009b) al trabajar en el cultivo del plátano en fase *in vitro*.

Al realizar la evaluación en el momento de la cosecha (Cuadro 5), se obtuvo un efecto superior con la combinación HMA-AB sobre el crecimiento de las plantas. Es de destacar la respuesta en las tres variables evaluadas si se toma en consideración que, en el caso particular de este cultivo, son precisamente las hojas la parte comestible, de ahí la importancia de lograr hojas largas, anchas y con buen peso. En el caso de los otros dos productos, igualmente provocaron un efecto positivo en las plantas, lo que es corroborado por las diferencias significativas obtenidas con respecto al tratamiento control.

Independientemente de los resultados obtenidos con el AB y la MOG, no debe descartarse el efecto producido por el extracto de vermicompost (EV), ya que el mismo influye positivamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas; en este sentido, hay autores que afirman su utilización en una agricultura ecológica donde las aspersiones foliares de este producto pueden constituirse en alternativas a la fertilización mineral, así como en la tolerancia al ataque de plagas y condiciones de estrés (Calderín *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2014). Por otra parte, resultados similares en el cultivo de la lechuga fueron obtenidos al evaluar el efecto del vermicompost, donde la aplicación foliar de sustancias húmicas incrementó la biomasa fresca y seca de las plantas y el rendimiento agrícola (Terry *et al.*, 2011); resultado similar obtuvo Mendoza *et al.* (2014) en el cultivo de rosemary.

Igual comportamiento se obtuvo al estimar el rendimiento agrícola (Cuadro 5), donde en ambos años, la aplicación de los tres BP supera al tratamiento control entre un 10 al 20%, siendo los mayores aportes a la producción por superficie, cuando se aplica la MOG y AB, entre los cuales no se obtienen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Por otra parte, la aplicación del EV, aunque difiere de los otros dos productos, supera y varía significativamente del rendimiento obtenido en el tratamiento control.

**Cuadro 4.** Efecto de los BP en el crecimiento de lechuga al momento de la cosecha.

Tratamiento	Longitud de las hojas (cm)		Ancho·hoja <sup>-1</sup> (cm)		Masa fresca·planta <sup>-1</sup> (g)	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
1. Micorriza - Mezcla Oligogalacturónico	29.15 b	29.10 b	17.27 b	16.26 b	177.43 b	175.60 b
2. Micorriza – Extracto Vermicompost	28.35 c	28.15 c	17.02 c	16.07 c	168.22 c	167.27 c
3. Micorriza– Análogo Brasinoesteroide	30.24 a	29.74 a	18.23 a	17.71 a	181.25 a	180.20 a
4. Control	26.16 d	26.21 d	15.15 d	14.35 d	153.39 d	151.60 d
Esx	0.01*	0.02*	0.01*	0.01*	0.01*	0.02*
CV (%)	5.42	4.86	6.81	7.65	6.51	6.66

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Tukey para  $P \leq 0.05$ . ESx: error estándar de la media.

El rendimiento por superficie se encuentra dentro del rango adecuado ( $3.0 - 5.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ) que se plantea para este cultivar en sistema de huerto intensivo (INIFAT, 2007). En el caso específico del análogo de brasinoesteroide, Reyes *et al.* (2014) destacan el papel que desempeña en las primeras etapas del crecimiento vegetativo, especialmente como promotores del crecimiento; este análogo se caracteriza por producir la estimulación del crecimiento vegetal, de la reproducción, la interacción con otras hormonas, el aumento de los rendimientos y la producción de biomasa en diferentes cultivos.

**Cuadro 5.** Efecto aditivo de los BP en el rendimiento de lechuga.

Tratamiento	Rendimiento ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )	
	2012	2013
1. HMA - MOG	5.49 a	5.76 a
2. HMA - EV	5.13 c	5.34 c
3. HMA- AB	6.75 a	6.78 a
4. Control	4.25 d	4.37 d
Esx	0.01*	0.04*
CV (%)	17.1	16.1

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Tukey para  $P \leq 0.05$ . ESx: error estándar de la media. CV: coeficiente de variación.

Por otra parte, en cuanto a la MOG, varios autores han coincidido en que los efectos biológicos expresados en las plantas por los oligogalacturónicos son diversos; las respuestas rápidas generalmente se observan en la superficie celular de los tejidos, así como las respuestas involucradas en el crecimiento y desarrollo incluyen, entre otras, la inducción de etileno, la inhibición de auxina y la estimulación floral (Izquierdo, 2009b).

El producto EV, por su superioridad con respecto al control, deviene como una alternativa a tomar en consideración para la nutrición de las plantas, tomando en cuenta que al ser un producto derivado del vermicompost, aporta nutrientes en forma inorgánica, que por difusión entran al tejido de la planta; por otra parte, la existencia de sustancias promotoras del crecimiento presentes en el producto aceleran el proceso de crecimiento y desarrollo de las plantas (Fritz, 2012).

En el Cuadro 6, se presentan los resultados para el cultivo del tomate en la fase de semillero, a los siete días después de aplicados los BP. No se obtuvieron diferencias significativas en las evaluaciones referentes al diámetro del tallo

y al número de hojas; en cambio, si fue diferente estadísticamente ( $p < 0.05$ ) la evaluación realizada para la altura de las plantas, siendo los tratamientos en que recibieron las aplicaciones de MOG, AB y EV, los de mejor comportamiento. Resultados similares han sido obtenidos por diferentes autores que han trabajado con los mismos BP; así, la aplicación del análogo Biobras-16 produjo incremento en la altura de las plantas de tomate a partir de los siete días debido a la promoción del crecimiento vegetal que es producido, entre otras causas, por la estimulación de la división celular.

**Cuadro 6.** Influencia de los BP en el crecimiento de plántulas de tomate al final de la fase de semillero del cultivo.

Tratamiento	Altura-planta <sup>1</sup> (cm)	Diámetro del tallo-planta <sup>1</sup> (cm)	Número de hojas-planta <sup>1</sup>
1. Micorriza - Mezcla Oligogalacturónico	34.62 a	0.37	5.78
2. Micorriza - Extracto Vermicompost	34.75 a	0.40	5.33
3. Micorriza- Análogo Brasinoesteroide	33.87 a	0.35	5.67
4. Control	29.25 b	0.31	5.11
Esx	0.84*	0.03 n.s	0.27 n.s
CV (%)	10.5	5.30	4.28

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Tukey para  $P \leq 0.05$ . ESx: error estándar de la media. CV: coeficiente de variación.

El resultado obtenido en esta evaluación permite discrepar con otros autores que en semillero obtuvieron un menor efecto en la altura y número de hojas de las plantas al aplicar dicho bioproducto (Álvarez *et al.*, 2011). En la fase de plantación, una vez realizada la segunda aplicación (una semana después del trasplante), al evaluar los componentes del rendimiento a los 30 días del trasplante (Cuadro 7), se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos, obteniéndose los mayores valores con EV y el AB, con 7.13 y 6.63 racimos por planta respectivamente; 13.50 y 12.37 número de flores, y de 11.37 y 11.62 número de frutos por planta respectivamente, lográndose un incremento por encima del 50%.

**Cuadro 7.** Influencia de los BP en componentes del rendimiento del cultivo del tomate al mes del trasplante.

Tratamiento	Número de racimos-planta <sup>1</sup>	Número de flores-planta <sup>1</sup>	Número de frutos-planta <sup>1</sup>
1. Micorriza - Mezcla Oligogalacturónico	5.13 b	12.75 a	9.00 b
2. Micorriza - Extracto Vermicompost	6.63 a	12.37 a	11.62 a
3. Micorriza- Análogo Brasinoesteroide	7.13 a	13.50 a	11.37 a
4. Control	3.63 c	8.50 b	7.38 c
Esx	0.36***	1.22 *	0.70***
CV (%)	10.5	7.42	6.25

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Tukey  $P < 0.05$ \*. ESx: error estándar de la media. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 8 se muestra el efecto de los bioproductos en algunas variables del rendimiento en el cultivo de la habichuela, como muestra el cuadro, en ambos años se obtuvieron diferencias estadísticas entre los diferentes productos aplicados para las variables longitud, peso y número de vainas, así como en el peso total por superficie; en sentido general, desde el punto de vista estadístico ( $p < 0.05$ ), con la combinación HMA + DCA se logra el mayor estímulo en los componentes del rendimiento, aunque con mínimas diferencias desde el punto de vista biológico con respecto a la combinación HMA + RECV. En sentido general, la combinación de dos bioproductos es superior a su utilización de manera independiente, a la vez que todos son superiores al tratamiento control.

El efecto positivo de la RECV en diferentes cultivos de interés agrícola han sido publicados por Jay *et al.* (2011); igualmente, se han obtenido resultados satisfactorios sobre el crecimiento, rendimiento y calidad en el cultivo del tabaco al aplicar el bioestimulante DCA Fitomas-E (Montano, 2007; León *et al.*, 2012), y también son varios los resultados que reafirman la respuesta de las plantas a los HMA (Fernández, 2000; Ramos *et al.*, 2013), estos efectos de manera general son puestos de manifiesto en este estudio donde se resalta la complementariedad entre los bioproductos en acción combinada, la cual supera a las aplicaciones individuales de cada uno.

**Cuadro 8.** Respuesta de variables del rendimiento a los BP en el cultivo de la habichuela.

Tratamiento	Longitud·vaina <sup>-1</sup> (cm)		Peso·vaina <sup>-1</sup> (g)		Peso total·vaina <sup>-1</sup> (kg·m <sup>-2</sup> )	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
1. Micorriza + Derivado Caña Azúcar	17.6 a	17.7 a	0.98 a	0.97a	0.53 a	0.54 a
2. Micorriza+ Extracto Vermicompost	15.2 f	15.2 cd	0.86 c	0.87 b	0.47 e	0.47 e
3. Micorriza + <i>Azotobacterchroococcum</i>	16.2 c	16.5 b	0.91 b	0.86 b	0.51b	0.52 b
4. Micorriza	15.4 d	15.3 c	0.75 ef	0.77 cd	0.46 g	0.45 g
5. Derivado Caña Azúcar	15.3 e	15.2 d	0.79 de	0.78 cd	0.48 d	0.48 d
6. Extracto Vermicompost	15.1 f	15.2 cd	0.80 d	0.80 bc	0.47 e	0.47 e
7. <i>Azotobacterchroococcum</i>	16.3 b	16.5 b	0.86 c	0.87 b	0.49 c	0.49 c
8. Control	14.0 g	14.2 e	3.71 f	0.72 d	0.40 f	0.41 f
ES x	0.01*	0.02*	0.008*	0.01*	0.11*	0.09*
CV (%)	6.43	6.64	9.94	9.58	7.76	7.76

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Tukey para  $P \leq 0.05$ . ESx: error estándar de la media, CV: coeficiente de variación.

## Conclusión

De manera general se pone de manifiesto el efecto positivo de los diferentes bioproductos estudiados. En el caso específico del extracto de vermicompost, este acelera la velocidad de germinación de las semillas e incrementa el crecimiento inicial de plántulas de lechuga. La combinación de las micorrizas con la mezcla de oligogalacturónido o el extracto de vermicompost o el análogo de brasinoesteroide, provocan un efecto aditivo evidenciado en el estímulo del crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de lechuga en un 20% y en el tomate un 50%; en el caso del cultivo de la habichuela, la combinación micorrizas con el

derivado de la caña de azúcar o el extracto de vermicompost o la rizobacteria estimuladora del crecimiento vegetal, incrementa en un 30% el rendimiento de las plantas, lo que permite en general una mayor producción agrícola de estos cultivos.

## Literatura citada

- ÁLVAREZ, B.I., Reynaldo, E.I., Cartaya, R.O., Terán, V.Z. 2011. Efectos de una mezcla de oligogalacturónidos en la morfología de hortalizas de importancia económica. *Cultivos Tropicales*, 32(3): 69-74.
- ARANCON, Q.N., Pant, A., Radovich, T., Hue, V.N., Potter, K.J., Converse, E.Ch. 2012. Seed Germination and Seedling Growth of Tomato and Lettuce as Affected by Vermicompost Water Extracts (Teas). *Hort Science*, 47(12): 1722-1728.

- ARTEAGA, M.N., Garcés, N., Novo, R., Guridi, F., Pino, J., Acosta, M., Pasos, M., Besú, D. 2007. Influencia de la aplicación foliar del bioestimulante Liplant sobre algunos indicadores biológicos del suelo. *Protección Vegetal*, 22(2):18-23.
- CANELLAS, L., Piccolo, A. I., Dobbss, L., Pacini, R., Olivares, F., Zandonadi, D., Facanha, A. 2010. Chemical composition and bioactivity propiers of size-fractions separated from a vermicompost humic acid, pp. 234-246 p. *In: Chemosphere* 78. Elsevier Ed.
- CALDERÍN, A., Acebedo, L., Guiridi, F., Vinicius, M., Sperandio, I., Castro, R., Berbara, F. 2012. Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. *Journal of Ecological Engineering*, 47: 203 – 208.
- CAMEJO, D., Martí, M.C., Jiménez, A., Cabrera, J.C., Olmos, E., Sevilla, F. 2010. Effect of oligogalacturonides on root length, extracellular alkalization and O<sub>2</sub><sup>-</sup> accumulation in alfalfa. *Journal of Plant Physiology*, 168 (6): 566-575.
- CAPOTE, I., Escalona, M., Daquinta, M., Pina, D., González, J., Aragón, C. 2009. Efecto del análogo de brasinoesteroide (MH5) en la aclimatización de los brotes de *Vriesea*, propagadas en sistemas de inmersión temporal. *Ciencia y Tecnología*, 2(1): 21- 25.
- CORBERA, J y Nápoles, MC. 2010. Evaluación de la inoculación conjunta *Bradyrhizobium elkanii*-hongos micorrízicos arbusculares y la aplicación de un bioestimulador del crecimiento vegetal en soya cultivada en época de invierno. *Cultivos Tropicales*, 31(4): 43-50
- DOYLE, P.M., & Erickson, C.M. (2012). Opportunities for mitigating pathogen contamination during on-farm food product. *International Journal of Food Microbiology*, 152(3): 54-74.
- FERNÁNDEZ, F., Gómez, R., Vanegas, L. F., Martínez, M.A., Noval B. M., Rivera, R. 2000. Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Cuba, Patente No. 22641.
- FERNANDEZ-LARREA, V.O. 2013. Programa para la recuperación de bioplaguicidas, biofertilizantes y bioestimulantes en Cuba. *Agricultura Orgánica*, 2: 2-5
- FRITZ, J.I., Franke-Whittle, I.H., Haindl, S., Insam, H; Braun, R. 2012. Microbiological community analysis of vermicompost tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. *Canadian Journal of Microbiology*, 58(7): 836-847.
- GARCIA, M.T., Villar, D.J., Ramil, M.M., Viñals, V.M., Lorenzo, M.M. 2012. Organización para la puesta en marcha de una planta para la producción del bionutriente Fitomas-E. *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(3): 21-25.
- HERNÁNDEZ, V.G., Hernández, G.O., Guridi, I.F., Arbelo, F.N. 2012. Influencia de la siembra directa y las aplicaciones foliares de extracto líquido de vermicompost en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. cc-25-9. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 21-24.
- IZQUIERDO, H.I., González, M.C., Núñez, M., Proenza, R., Cabrera, J. 2009a. Influencia de un oligogalacturónido en la aclimatización de vitroplantas de banano (*Musa* spp.) del clon FIAH-18 (AAAB). *Cultivos Tropicales*, 30(1): 37-42.
- INIFAT. Manual de organopónicos y huertos intensivos. 2007. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical, La Habana. Cuba. 183 p.
- IZQUIERDO, O.H. 2009b. Los oligogalacturónidos de origen péctico y su acción en las plantas. *Temas de Ciencia y Tecnología de México*, 13(39): 31-40.
- JAY, S.S., Chandra, P.V, Singh, D.P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 140(3-4): 3339-353.
- LEÓN, G.Y., Martínez, V.R., Hernández, M. JM., Rodríguez, L.N. 2012. Aplicación de *Azotobacter chroococcum* en la producción de plántulas de tabaco negro. *Cultivos Tropicales*, 33(2): 29-32.
- MAGUIRE, J.D. 1962. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, 2(2): 176-177.
- MAYLEW, L. 2004. Humic substances in Biological Agriculture. ACRES, USA. Ed. Avoice for Eco-Agriculture. 34 (1 and 2): 16 -27
- MENDOZA, H.D., Fornes, F., Belda, R.M. 2014. Compost and vermicompost of horticultural waste as substrates for cutting rooting and growth of rosemary. *Scientia Horticulturae*, 178: 192-202.
- MONTANO, R. Manual Práctico de Biopreparados. 2007. Ed. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba. 43 p.
- MEDEROS, Y., & Hormaza, J. 2008. Consideraciones generales en la obtención, caracterización e identificación de los oligogalacturónidos. *Cultivos Tropicales*, 29(1): 83-90.
- NÚÑEZ, V.M., Reyes, G.Y., Rosabal, A.L., Martínez, T.L., González, C.M., Pieters, A. 2013. Brasinoesteroides y sus análogos estimulan el crecimiento de plántulas de dos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en medio salino. *Cultivos Tropicales*, 34(1): 74-80.
- NÚÑEZ, V.M., Reyes, G.Y., Rosabal, A.L., Martínez, T.L. 2014. Análogos espirostánicos de brasinoesteroides y sus potencialidades de uso en la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 35(2):.34-42.
- RAMOS, L.H., Arozarena D.N., Reyna, G.Y., Telo, C. L., Ramírez, P. M., Lescaille, A. J., Martín, A.G. 2013. Hongos Micorrízicos Arbusculares, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* y FitoMas-E: una alternativa eficaz para la reducción del consumo de fertilizantes minerales en *Psidium guajava*, L. var. Enana Roja cubana. *Cultivos Tropicales*, 34(1): 5-10.
- REYES, G.Y., Rosabal, A.L., Martínez, G.I., Mazorra, M.L.M., Núñez, V.M. 2014. Efecto de los brasinoesteroides y un inhibidor de su biosíntesis en plántulas de dos variedades de tomate sometidas a estrés salino. *Revista Cultivos Tropicales*, 35(1): 25-34.
- TERRY, A.E., Ruiz, P.J., Tejeda, P.T., Reynaldo, E.I., Díaz, M.M. 2011. Respuesta del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) a la aplicación de diferentes productos bioactivos. *Cultivos Tropicales*, 32(1): 77-82. 

Este artículo es citado así:

Terry-Alfonso, E., J. Ruiz-Padrón, T. Tejeda-Peraza, I. Reynaldo-Escobar, Y. Carrillo-Sosa y H. A. Morales-Morales. 2014. Interacción de bioproductos como alternativas para la producción horticultura cubana. *TECNOCENCIA Chihuahua* 8(3): 163-174.

## Resumen curricular del autor y coautores

**ELEIN TERRY ALFONSO.** En el año 1992 obtuvo el título de Ingeniera Agrónoma en la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de la Habana (UNAH). Realizó estudios de posgrado en la UNAH, obteniendo el título de máster en Ciencias Agrícolas en el año 1998. Posee el grado científico de Doctora en Ciencias Agrícolas en la especialidad de Fitotecnia, el cual es conferido en el año 2005 por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de Cuba. Desde 1992 se desempeña como investigadora en el INCA, ostentando en el presente la máxima categoría de Investigadora Titular. Ha participado en más de 10 proyectos de investigación, más de 20 congresos científicos, ha publicado varios artículos en revistas de prestigio nacional e internacional, ha dirigido tesis de pre y posgrado y dirige programas de maestría y doctorado. Ha recibido varios premios y reconocimientos por su labor profesional.

**INÉS REYNALDO ESCOBAR.** En el año 1976 se graduó de Licenciatura en Bioquímica de los Alimentos en la Universidad de la Habana (UH). Obtuvo en el año 1995 el grado científico de Doctora en Ciencias Agrícolas. Es investigadora Titular del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) donde ha dirigido varias líneas de investigación en el departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del INCA. Ha publicado más de 25 artículos científicos y ha participado en varios eventos nacionales e internacionales. Ha dirigido tesis de pre y posgrado y participa como profesora en programas de maestrías y doctorados. Ha recibido premios por los resultados obtenidos.

**JOSEFA INÉS RUIZ PADRÓN.** En el año 1993 se graduó de Ingeniero Agrónomo en el Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana (ISCAH). Realizó estudios de postgrado en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) donde realizó una maestría en la nutrición del cultivo de la papa, obteniendo el título de Máster en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes en el año 2001. Posteriormente comenzó a trabajar de especialista en la fitotecnia de algunas plantas ornamentales hasta el 2005, cuando inició sus trabajos en la fitotecnia de cultivos hortícolas con la aplicación de alternativas nutricionales empleando productos bioactivos. Estuvo al frente de un proyecto relacionado con esta temática en huertos y parcelas, también ha realizado tutoría a estudiantes de tecnológico y de universidad. Ha participado en diferentes eventos científicos presentando trabajos relacionados con esta temática, actualmente continúa trabajando en la misma, vinculada a diferentes proyectos de investigación.

**TAMARA TEJEDA PERAZA.** Graduada de Ingeniero Agrónomo en 1992 en el Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana (ISCAH). Obtuvo su Maestría en Ciencias Agrícolas en 1998 en la misma universidad mientras laboraba como investigador en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cursó diferentes estudios de postgrado, así como entrenamientos y realizó investigaciones en temas de Fitotecnia General para diferentes cultivos. Ha participado en diferentes proyectos de investigación, con temas como la Zonificación Agroecológica del café en macizos montañosos de Cuba, ha participado en eventos científicos, ha publicado en revistas científicas certificadas por el CITMA. Actualmente trabaja como especialista de Ciencia y Técnica en el Departamento de Proyectos, Innovación y Colaboración, donde se mantiene vinculada a la actividad científica.

**YUDINES CARRILLO SOSA.** Obtuvo el título de Ingeniera Agrónoma por la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de la Habana, situada en Mayabeque, Cuba. Es especialista del departamento de Fitotecnia del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) desde el 2012, donde realiza sus estudios de maestría en Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. Participa en varios proyectos de investigación relacionados con el manejo de Bioinsumos. Ha participado como ponente y co autor en congresos científicos nacionales e internacionales. Asesora estudiantes de pregrado de carreras técnicas agrícolas.

**HUGO ARMANDO MORALES MORALES.** Cursó la licenciatura en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), otorgándosele en 1984 el título de Ingeniero Agrónomo, especialidad Fitotecnia. Posee el Doctorado en Ciencias Biológicas, con un mayor en Microbiología Ambiental, grado conferido en 2003 por New Mexico State University (NMSU), USA. ha sido miembro del Cuerpo Académico Transferencia Tecnológica desde 2006, año a partir del cual recibió el reconocimiento como Perfil PRODEP. Colabora con investigadores de la New Mexico State University, USA, y del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) Cuba, en la línea de investigación "Agricultura sustentable". Es responsable técnico de varios proyectos de investigación con financiamiento externo (Fundación Produce, FOMIX Chihuahua, UACH). A lo largo de su vida profesional ha participado como ponente en congresos científicos nacionales e internacionales, y publicado como autor y coautor, varios artículos en revistas científicas y de divulgación.

# La pesca artesanal del tahalí (*Trichiurus lepturus*) en Boca del Río, isla de Margarita, Venezuela

Artisanal fishery of the largehead hairtail (*Trichiurus lepturus*) at Boca del Río, Margarita Island, Venezuela

FRANCISCO GUEVARA<sup>1,2</sup>, NORA ESLAVA<sup>1</sup>, LEO WALTER GONZÁLEZ<sup>1</sup> Y LUIS TROCCHI<sup>1</sup>

Recibido: Junio 18, 2014

Aceptado: Enero 12, 2015

## Resumen

El tahalí (*Trichiurus lepturus*) es un pez que habita fondos someros de sustratos blandos hasta 100 m de profundidad y puede encontrarse cerca de la superficie formando cardúmenes. La flota artesanal de Boca del Río en la isla de Margarita efectúa la captura del tahalí con línea de mano con lámpara de 12 vatios, conocido como "cordel fondero con luz". Debido a la importancia socio-económica que representa la pesca de esta especie en la comunidad, se planteó estimar la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) mensual y su asociación con la temperatura superficial del mar, velocidad del viento y precipitación, durante el periodo 2003-2006. La toma de datos de captura y esfuerzo se efectuó en el Sector Caracas donde desembarcó el 16% de la flota pesquera, que osciló de 69 a 78 embarcaciones activas. La CPUE se relacionó con las variables ambientales mediante un Análisis de Componentes Principales. Los resultados mostraron coherencia entre la captura y el esfuerzo pesquero con apreciables fluctuaciones mensuales y anuales; mientras que la CPUE mostró una notable variación intermensual desde 0.25 kg/hora de pesca hasta 23.24 kg/hora de pesca; lo que evidencia una marcada estacionalidad. Se observó una asociación positiva entre la abundancia relativa y la temperatura superficial del mar, y negativa con la velocidad del viento. Estos resultados sugieren que la abundancia relativa estaría regulada fundamentalmente por los factores ambientales del ecosistema pelágico costero.

**Palabras clave:** *Trichiurus lepturus*, pesca artesanal, variables ambientales, Venezuela.

## Abstract

The largehead hairtail (*Trichiurus lepturus*) is a fish that inhabits shallow waters of soft substrates, up to 100 m deep, and can be found near the surface forming shoals. The artisanal fishing fleet of Boca del Río, on Margarita Island, captures largehead hairtails with hand lines attached to a 12 watt lamp, called "lighted bottom lines". Due to the socio-economic importance the fishery of this species represents to the community, it was proposed to estimate the catch per unit effort (CPUE) monthly and its association with the sea surface temperature, wind speed, and precipitation, during 2003-2006. Data on catch and fishing effort were collected in the Caracas Sector, where 16% of the fishing fleet landed, which ranged from 69 to 78 active fishing boats. The CPUE was correlated with environmental variables using Principal Component Analysis. Results showed a relationship between catch and fishing effort with notable monthly and annual fluctuations; while the CPUE exhibited significant monthly variation, from 0.25 kg/hour fishing to 23.24 kg/hour fishing, showing notable seasonality. A positive correlation was seen between relative abundance and sea surface temperature, and negative with wind speed. These results suggest that relative abundance may be affected fundamentally by environmental factors of the coastal pelagic ecosystem.

**Keywords:** *Trichiurus lepturus*, artisanal fishery, environmental variables, Venezuela.

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Oriente Núcleo Nueva Esparta, Boca del Río, isla de Margarita, Venezuela.

<sup>2</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: franciscogm2002e@hotmail.com.

## Introducción

**E**l pez (*Trichiurus lepturus*) se distribuye desde el noreste de los Estados Unidos de América (Cabo Cod), hasta Argentina, incluyendo el Golfo de México y el Mar Caribe. En Venezuela se le denomina tahalí, es común y en algunas localidades es sumamente abundante (Cervigón, 1994). Los adultos son pelágicos y pueden encontrarse cerca de la superficie.

En la región nororiental de Venezuela, los grandes especímenes se capturan con anzuelo en la superficie durante la noche, usando luz artificial (Rojas, 2012). Las principales artes utilizadas para su captura son las redes de cerco, enmalle, arrastre, y de línea como el cordel y el palangre (González *et al.*, 2006). Según las estadísticas del Instituto Socialista de Pesca y Acuicultura (INSOPESCA), en el periodo 2003-2006 los mayores desembarques a nivel nacional se presentaron en 2004, con 9,468 t, y de manera similar ocurrió con los volúmenes provenientes de la pesca artesanal del estado Nueva Esparta con 3,538 t. Por su bajo valor monetario y la buena calidad de su carne, esta especie forma parte de la dieta de la población de escasos recursos económicos.

La pesca artesanal en el suroeste de la isla de Margarita constituye una actividad económica importante y de tradición arraigada a su condición de ínsula e idiosincrasia marinera, motivo suficiente para caracterizar la pesca practicada por pescadores de la comunidad de Boca del Río que está dirigida a especies estacionales. Esta actividad la realizan a través de artes de línea de mano, en sus diferentes modalidades (González *et al.*, 2000), y el tangón, que es una modificación de la pesca con vara (Ginés, 1972). La disminución sostenida de los desembarques en los últimos cuatro años, según las estadísticas del Instituto Socialista de Pesca y Acuicultura (INSOPESCA), y el uso de la red de arrastre artesanal en zonas costeras del estado Nueva Esparta, ha generado una situación de deterioro de la calidad del medio ambiente (González *et al.*, 2013). Además, el impacto de los fenómenos climáticos naturales ha afectado la producción pesquera, sobre todo de los

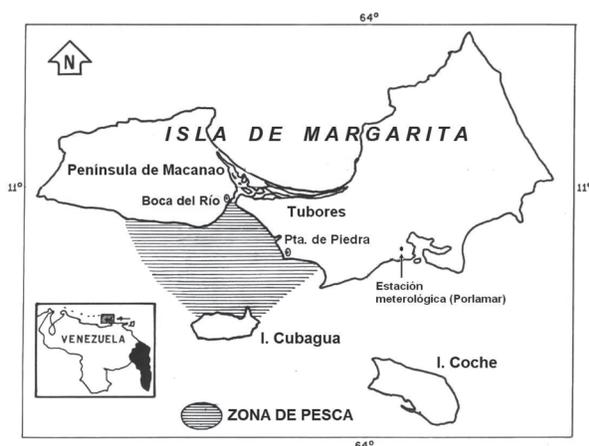
pescadores de pequeña escala, originando preocupación en la comunidad de pescadores artesanales del sureste de la isla de Margarita, como los de Boca del Río (González *et al.*, 2013). En tal sentido, se planteó la conveniencia de analizar las variaciones en la captura, el esfuerzo y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en la comunidad de Boca del Río, que tradicionalmente tiene una pesca dirigida al tahalí con el cordel fondero y luz, considerando como objetivo estimar la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) mensual y su asociación con la temperatura superficial del mar (TSM), velocidad del viento (VV), precipitación (P) e insolación (I), a fin de explorar la evolución de la pesquería durante el periodo 2003-2006, a fin de generar los conocimientos básicos para la toma de decisiones necesarias en el desarrollo y consolidación de la pesca artesanal costera del sureste de la isla de Margarita.

## Materiales y métodos

Se graficó una serie histórica de las capturas de *T. lepturus* a nivel nacional y en el estado Nueva Esparta a través de las estadísticas proporcionadas por el INSOPESCA para conocer su tendencia. Posteriormente se efectuaron muestreos diarios durante el periodo 2003-2006, a través de cuestionarios semi-estructurados en el Sector Caracas de Boca del Río, donde desembarca regularmente el 16% de la flota constituida de 69 (2003-2004) a 78 (2005-2006) embarcaciones operativas con motor fuera de borda que faenan en el área comprendida entre las localidades de los municipios Tubores-Península de Macanao y la isla de Cubagua (Figura 1). Los cuestionarios suministraron información sobre las características de las

embarcaciones (dimensión, potencia de motor y número de tripulantes), artes de pesca (dimensión, tamaño y número de anzuelos), zonas de pesca, captura, horas efectivas de pesca, gastos, insumos, y comercialización. Los cuestionarios procesados estuvieron distribuidos de la siguiente manera: para el año 2003 (1,224), 2004 (642), 2005 (558) y 2006 (788). Es importante acotar que hubo días, semanas e inclusive meses que no operaron las embarcaciones por el mal tiempo y estacionalidad de los recursos. El arte de pesca fue codificado conforme a la Clasificación Estadística Internacional Normalizada de los Artes de Pesca (CENIAP), adoptada por FAO (1972) y Nédélec (1975). La captura por unidad de esfuerzo se estimó según Gulland (1971):  $CPUE_i = C_i / E_i$ , donde  $C_i$  es la captura en kilogramos y  $E_i$  es el esfuerzo en horas de pesca (hep). Se relacionó la CPUE con la temperatura superficial del mar (TSM), velocidad del viento (VV), precipitación (P) e insolación (I) mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP) a través de la matriz de correlación (Johnson y Wichern, 1992). La TSM (°C) fue obtenida a través de los datos del proyecto CARIACO IMARS-USF (Institute for Marine Remote Sensing College of Marine Science University of South Florida) para las costas nororientales de Venezuela disponible en la página web <http://www.imars.usf.edu/CAR/index.html>; y la serie histórica de datos mensuales de VV (m/s) P (mm) e I (h) fue proporcionada por el Servicio de Meteorología de La Fuerza Aérea de Venezuela Estación Porlamar.

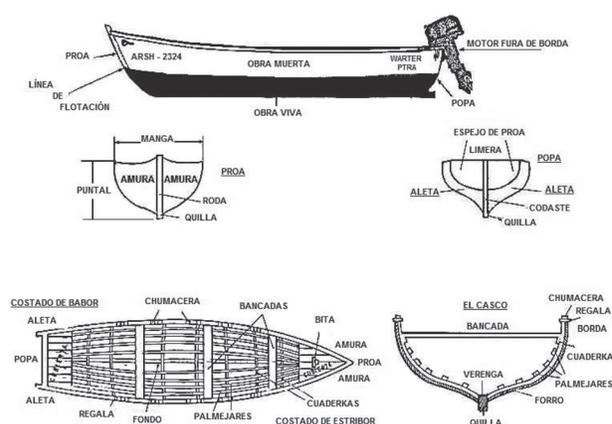
**Figura 1.** Área de pesca de la flota artesanal de Boca del Río, isla de Margarita, estado Nueva Esparta, Venezuela.



## Resultados y Discusión

El tamaño de la flota artesanal de Boca del Río, durante el periodo de estudio 2003–2006, fluctuó de 69 a 78 embarcaciones construidas de madera denominados «peñeros» de 5 a 7 m de eslora, los cuales poseen un motor fuera de borda con una potencia de 40 HP, en el que realizan faenas diarias, regularmente con dos pescadores a bordo en zonas cercanas a la costa (Figura 2).

**Figura 2.** Estructura de la embarcación denominada «peñero» (González *et al.*, 2006).

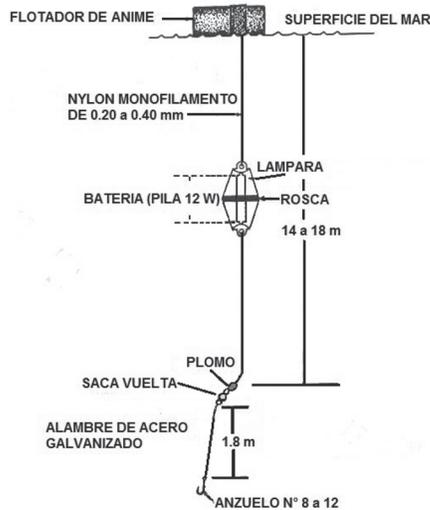


En la localidad de Boca del Río el único arte de línea que utilizan para la pesca del tahalí es el cordel fondero con luz, que consiste en una línea de mano de 14 a 18 m de longitud constituido por un nylon monofilamento de 0.20 a 0.40 mm, donde va acoplada una lámpara con batería de 12 voltios, que está unida a un plomo y a un alambre de acero galvanizado de 1.8 m a través de un dispositivo giratorio, para finalizar en un anzuelo número 5 con carnada (Figura 3).

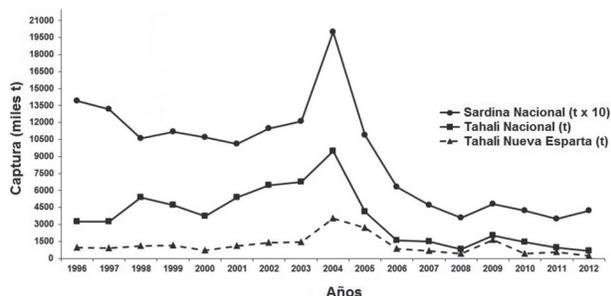
La serie histórica de captura 1996-2012 de tahalí (*Trichiurus lepturus*) y sardina (*Sardinella aurita*) (Figura 4) mostró en 2004 los valores anuales más altos de 9,468 t y 20,232 t, respectivamente, a nivel nacional, y de 3,538 t en el estado Nueva Esparta. De manera análoga se observó un descenso importante de las capturas a partir de 2005 asociado, posiblemente,

a la sobrepesca de la sardina que afectó el stock reproductor aunado a los cambios climáticos globales (González *et al.*, 2007a) que impactó la distribución, el tamaño de la población, y a su vez al ecosistema marino-costero donde la sardina constituye el alimento primordial de varios depredadores como el tahalí (Rojas, 2012); de tal manera, al disminuir la sardina mermó el tahalí. A pesar de ello la producción fue relativamente alta durante el periodo de estudio 2003-2006 en comparación con otros recursos importantes que utilizan línea de mano, como el pargo colorado (*Lutjanus purpureus*), que alcanzó una captura máxima de 1,634 t en 2005 y una mínima de 366 t en 2006.

**Figura 3.** Cordel fondero con luz para la pesca del tahalí (*Trichiurus lepturus*) (CENIAP: 09.9.0-LX). Modificado de González *et al.* (2006).



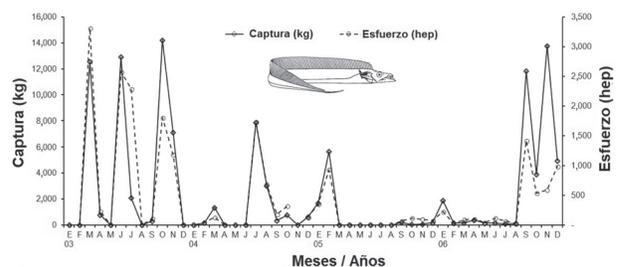
**Figura 4.** Serie histórica de captura del tahalí (*Trichiurus lepturus*) 1996-2012 a nivel nacional y en el estado Nueva Esparta. Fuente: INSOPESCA.



Las mayores capturas mensuales en el periodo analizado (2003-2006) se observaron en octubre de 2003 (14,227 kg); julio de 2004 (7,881 kg); febrero de 2005 (5,648 kg) y noviembre de 2006 (13,776 kg); mientras que los más bajos se registraron en septiembre de 2003 (292 kg); febrero de 2004 (158 kg); octubre de 2005 (29 kg) y julio de 2006 (65 kg) (Figura 5). El esfuerzo pesquero más alto ocurrió en marzo de 2003 (3,312 hep); julio de 2004 (1,735 hep); febrero de 2005 (929 hep) y septiembre de 2006 (1,420 hep); sin embargo, los valores más bajos se registraron en septiembre de 2003 (111 hep); febrero de 2004 (39 hep); septiembre de 2005 (64 hep) y agosto de 2006 (21 hep) (Figura 5). La fluctuación mensual promedio de las capturas totales estimadas presentó una importante variación interanual, registrándose la menor variabilidad durante el año 2005.

Es importante mencionar que los conflictos de interferencia espacio-temporal por artes de pesca agresivos como las redes de arrastre artesanales originan impactos negativos al ecosistema y bajos ingresos al pescador ribereño de Boca del Río (González *et al.*, 2013), que asociados a un manejo que ignora la variabilidad ambiental y la incapacidad para imponer medidas regulatorias en la actividad pesquera, son las principales causas de la disminución de la producción pesquera, la cual tenderá a agravarse con las altas temperaturas y disminución de la productividad primaria y secundaria de los ecosistemas costeros del sureste del Mar Caribe (Taylor *et al.*, 2012).

**Figura 5.** Captura y esfuerzo mensual del tahalí (*Trichiurus lepturus*) de la flota artesanal de Boca del Río durante el periodo 2003-2006. N = 3,212 cuestionarios.



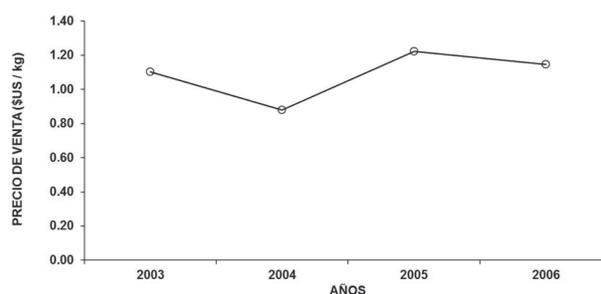
El aumento progresivo del esfuerzo y poder de pesca sobre las principales especies comerciales puede afectar la magnitud y estructura de sus poblaciones, así como los futuros reclutamientos, originando cambios significativos en el ecosistema, con la consiguiente pérdida de la biodiversidad (Pauly *et al.*, 1998). Sin embargo, debe considerarse la influencia de la variabilidad ambiental sobre los recursos y ecosistemas, y sus interacciones espacio-temporales en el corto, mediano y largo plazo, las que han determinado cambios significativos en los volúmenes de producción, basados en su mayor o menor disponibilidad y abundancia, y las consiguientes implicancias socio-económicas como la baja rentabilidad de la pesquería (Eslava, 2005).

De acuerdo a la información obtenida, durante el periodo analizado, el precio de venta de *T. lepturus* fluctuó en el tiempo, durante el año 2003 (1.10 \$US/kg), 2004 (0.88 \$US/kg), 2005 (1.22 \$US/kg) y 2006 (1.15 \$US/kg) (Figura 6); posiblemente, esta variación de precios se debe a la oferta y demanda en el mercado. Sin embargo, el ingreso por venta anual de la flota disminuyó de manera progresiva de \$US 76,167 en 2003 a \$US 26,369 en 2004 y \$US 15,497 en 2005, para luego aumentar a \$US 69,354 en 2006. Con estos bajos ingresos por venta es difícil sostener económicamente una familia de cinco miembros promedio, razón por la que el pescador de Boca del Río, para subsistir económicamente se siente en la obligación de alternar artes de pesca y dirigirse a la captura de especies ribereñas estacionales utilizando tangón, que es una modificación de la pesca con vara (Ginés 1972), para la pesca de *Sarda sarda* (98.07%), y cordel fondero sin luz para la pesca de 15 especies semipelágicas y demersales (92.94%), además de especies pequeñas de fondo de bajo valor comercial (7.06%) (Eslava *et al.*, 2007).

Con respecto al cálculo de CPUE, alcanzó sus máximos valores en octubre de 2003 (7.88 kg/hep); marzo de 2004 (10.5 kg/hep); febrero de 2005 (6.08 kg/hep) y noviembre de 2006 (23.24 kg/hep); mientras que los mínimos

valores se obtuvieron en julio de 2003 (0.91 kg/hep); septiembre de 2004 (1.92 kg/hep); octubre de 2005 (0.25 kg/hep) y julio de 2006 (0.96 kg/hep) (Figura 7). El rendimiento del cordel fondero con luz evidencia ser más cercano al valor máximo promedio obtenido en marzo (1.27 kg/hep) del periodo 1993-1999 de la flota artesanal de Juangriego, isla de Margarita que utiliza red derivante (Lárez *et al.*, 2002). Las fluctuaciones de la CPUE mensual mostraron notables incrementos durante el periodo de estudio y sugieren que es un recurso de conducta estacional, que aparece con valores altos en el primero (febrero 2005 y marzo 2004) y cuarto trimestre (octubre 2003 y noviembre 2006) del año, lo cual coincide con la época reproductiva de *T. lepturus* que ocurre de septiembre a marzo según lo anotado por García-Cagide *et al.* (1994).

**Figura 6.** Variación anual del precio de venta promedio (\$US/kg) del tahalí (*Trichiurus lepturus*) de la flota artesanal de Boca del Río durante el periodo 2003-2006. N = 3,212 cuestionarios.

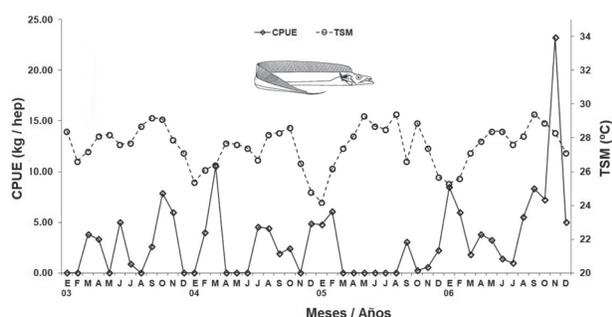


Así mismo, Lárez *et al.* (2002) mencionaron que *T. lepturus* presenta una marcada estacionalidad y una importante variabilidad intermensual, siendo abundante en el primer semestre; y Eslava *et al.* (2007) señalaron que *T. lepturus* del suroeste de la isla de Margarita alcanza la mayor abundancia relativa durante los meses de octubre, noviembre y febrero.

Ayala-Pérez *et al.* (2012) analizaron los patrones de variación espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces de Campeche, México, y observaron que durante la época de secas se registró mayor

estabilidad ambiental, debido a que los niveles de temperatura se incrementan, el volumen de descarga de los ríos disminuye, dominan los vientos del sureste y aumenta la transparencia del agua, lo cual permiten el ingreso de organismos con preferencias marinas de tallas grandes. En general, los patrones de la variabilidad ambiental producen cambios importantes en los stocks y sus pesquerías, haciendo que aumenten, se reduzcan o desaparezcan, mientras que otras especies aparezcan como «nuevos» recursos o aumenten sus poblaciones, permitiendo el desarrollo de pesquerías diferentes (Espino y Yamashiro, 2012).

**Figura 7.** Evolución mensual de la CPUE del tahalí (*Trichiurus lepturus*) de la flota artesanal de Boca del Río durante el periodo 2003-2006. N = 3,212 cuestionarios.

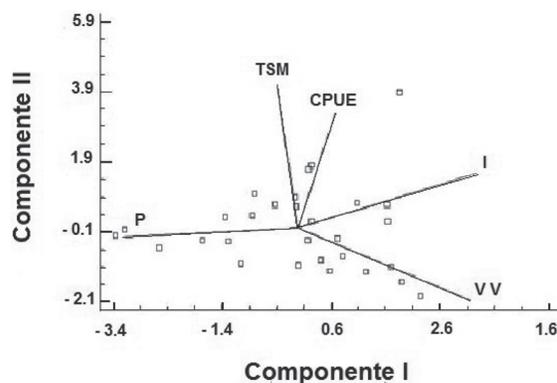


El ACP mostró una varianza acumulada de 70% en los dos primeros componentes. En el primer componente se observó una correlación positiva y significativa de la velocidad del viento con la insolación ( $r = 0.58$ ;  $p < 0.05$ ), y ambas en sentido inverso con la precipitación ( $r = -0.56$ ;  $p < 0.05$ ) (componente de surgencia costera). En el segundo componente hay una correlación significativa de la abundancia relativa y la temperatura superficial del mar ( $r = 0.60$ ;  $p < 0.05$ ), por lo que se puede considerar el componente de productividad pesquera (Figura 8).

En el ACP, la captura por unidad de esfuerzo de *T. lepturus* no estuvo asociada al primer componente. Es evidente que la temperatura superficial del mar, cambia como consecuencia del pulso físico ejercido por el viento; en una zona

de surgencia estacional, se espera que luego del ascenso de aguas sub-superficiales de menor temperatura y cargadas de nutrientes (Okuda, 1974), promuevan la productividad primaria y, como consecuencia, la transferencia trófica ocurre *a posteriori*, con el efecto de la elevada producción pesquera (Rueda, 2000). Al respecto, Márquez *et al.* (2009) señalan que en la cuenca de Cariaco (costa oriental de Venezuela) la correlación entre fitoplancton no es directa con el zooplancton, debido a que reacciona a los pulsos de surgencia. El efecto combinado de surgencia costera, inducido por el viento en la temporada seca (noviembre-abril) y la descarga del río Orinoco en la época de lluvias (mayo-octubre) genera niveles relativamente altos de producción primaria altamente variables en espacio y tiempo, que oscilan desde  $3 \text{ g cm}^2 \text{ d}^{-1}$  en áreas de surgencia costera, hasta  $0.2 \text{ g cm}^2 \text{ d}^{-1}$  en áreas más alejadas de las mismas (Müller-Karger y Varela, 1990).

**Figura 8.** Análisis de Componentes Principales: valores de la primera y segunda componente principal del tahalí (*Trichiurus lepturus*) durante el periodo 2003-2006. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE), temperatura superficial del mar (TSM), velocidad del viento (VV), precipitación (P) e insolación (I). N = 3,212 cuestionarios;  $p < 0.05$ .



La asociación positiva de la abundancia relativa de *T. lepturus* con la temperatura superficial del mar, como consecuencia de la respuesta del comportamiento natural de la especie al incremento de la temperatura, indica la influencia de la variabilidad ambiental en la pesquería debido a una serie de eventos

meteorológicos y climáticos que caracterizan el ecosistema costero. Durante el periodo enero-junio es cuando se registra la mayor productividad primaria en la región nororiental de Venezuela (Okuda, 1974), por lo que los huevos recién eclosionados encuentran condiciones adecuadas para su desarrollo con concentraciones suficientes de alimento, así como temperaturas adecuadas. En el área nororiental de Venezuela la surgencia costera ocurre durante el periodo enero-abril, y luego comienza el incremento de la temperatura como consecuencia de la disminución de la velocidad del viento (Muller-Karger y Aparicio, 1994).

Es difícil establecer con precisión la influencia de la variabilidad ambiental en la biología de *T. lepturus*, esto posiblemente se deba a la surgencia costera y el efecto del río Orinoco que se alternan en sus máximos estacionales, induciendo una alta productividad sostenida todo el año, esto al menos sobre la plataforma continental (González *et al.*, 2007b). Otras posibles causas de las oscilaciones observadas de las CPUE estarían relacionadas con la interferencia espacial de redes de arrastre artesanal conocidas como «jala pa` tierra», las cuales consisten en una red de playa rectangular con diferentes variantes estructurales de 600 a 1,000 m que tiene un copo o saco donde se concentra la pesca (González *et al.*, 2013).

## Conclusiones

*Trichiurus lepturus* es una especie estacional con importante fluctuación intermensual asociados a la variabilidad ambiental del ecosistema costero, alcanzando el máximo índice de abundancia los primeros y últimos meses del año coincidentes con su época reproductiva. La abundancia estaría regulada fundamentalmente por los factores ambientales y sugiere que la surgencia costera originada por efecto del viento, genera pulsos de producción que pueden variar interanualmente.

## Agradecimientos

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el cofinanciamiento parcial. A Ramona Marín † por el apoyo logístico de campo. A Francis Marín por la ayuda en la recolección de datos. Al proyecto CARIACO IMARS–USF por los datos de TSM. Al Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea de Venezuela por los datos meteorológicos suministrados de la Estación de Porlamar. A Clark Casler por la revisión y sugerencias al manuscrito.

## Literatura Citada

- AYALA-PÉREZ, L. A., G. J. Terán-González, D. Flores-Hernández, J. Ramos-Miranda y A. Sosa-López. 2012. La variabilidad espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces en la costa de Campeche, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(1): 63-78.
- CERVIGÓN, F. 1994. *Los peces marinos de Venezuela*. Volumen III. Editorial Ex Libris. Caracas, Venezuela. 295 p.
- ESLAVA, N. 2005. Análisis de los parámetros pesqueros y socioeconómicos de la flota artesanal de Boca del Río, isla de Margarita. Trabajo de Ascenso. Instituto de Investigaciones Científicas. Universidad de Oriente. Boca del Río, Venezuela.
- ESLAVA, N., L. W. González, L. Troccoli y F. Guevara. 2007. La pesca artesanal en el suroeste de la isla de Margarita y su relación con la variabilidad ambiental. *Boletín del Centro Investigaciones Biológicas*, 41(1): 60-72.
- ESPIÑO, M. y C. Yamashiro. 2012. La variabilidad climática y las pesquerías en el Pacífico suroriental. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(3): 705-721.
- FAO. 1972. *Catalogue of fishing gear designs*. Preparado por la Subdirección de Pesca. Dirección de industrias Pesqueras, Departamento de Pesca, Londres, 115 p.
- GARCÍA-CAGIDE, A., R. Claro y B.V. Koshelev. 1994. Reproducción. 187-262. En R. Claro (ed.) *Ecología de los peces marinos de Cuba*. Instituto de Oceanología Academia de Ciencias de Cuba y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. México. 525 p.
- GINÉS, Hno. (Ed.). 1972. *La carta pesquera de Venezuela*. 1 – *Áreas del Nororiente y Guayana*. Monografía 16, Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas, Venezuela. 328 p.
- GONZÁLEZ, L. W., N. Eslava y J. Suniaga. 2000. Descripción y análisis de la pesquería de altura del pargo en Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 34 (3): 332–361.
- GONZÁLEZ, L. W., N. Eslava y F. Guevara. 2006. *Catálogo de la pesca artesanal del Estado Nueva Esparta, Venezuela*. Editorial Radoca C.A. Cumaná, Venezuela. 222 p.
- GONZÁLEZ, L. W., N. Eslava y E. Gómez. 2007a. Parámetros poblacionales de la sardina (*Sardinella aurita*) del sureste de la Isla de Margarita, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41(4): 457-470.
- GONZÁLEZ, L. W., J. Euán, N. Eslava y J. Suniaga. 2007b. La pesca de sardina, *Sardinella aurita* (Teleostei: Clupeidae) asociada a la variabilidad ambiental del ecosistema de surgencia costera de Nueva Esparta, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 55 (1): 279-286.
- GONZÁLEZ, L. W., N. Eslava, F. Guevara y L. Esparragoza. 2013. Impacto de la red de arrastre artesanal en el suroeste de la isla de Margarita, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 47(1): 84 - 95.
- GULLAND, J. 1971. *Manual de métodos para la evaluación de poblaciones de peces*. FAO, Editorial Acirbia. Zaragoza, España. 164 p.
- JOHNSON, R. y D. Wichern. 1992. *Applied multivariate statistical analysis* (3ed.). Prentice Hall Int. New Jersey, USA. 642 p.

- LÁREZ, A. F., J. S. Marcano, J. J. Mendoza, y A. J. Carrión. 2002. La pesquería artesanal costera con tendedor derivante en Juangriego, isla de Margarita, Venezuela (periodo 1993-1999). *Memoria Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 157: 111-128.
- MÁRQUEZ, B., J. R. Díaz-Ramos, L. Troccoli y B. Marín. 2009. Densidad, biomasa y composición del zooplancton, en el estrato superficial de la cuenca de Cariaco, Venezuela. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44 (3):737-749.
- MÜLLER-KARGER, F. E. y R. J. Varela. 1990. Inlujo del río Orinoco en el mar Caribe: observaciones con el CZCS desde el espacio. *Memoria Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 49-50: 361-390.
- MÜLLER-KARGER, F. E. y R. Aparicio. 1994. Mesoscale processes affecting phytoplankton abundance in the southern Caribbean Sea. *Continental Shelf Research*, 14(2-3): 199-221.
- NEDÉLEC, C. 1975. *Catálogo de artes de pesca artesanal*. Dirección de Industrias Pesqueras, FAO. Pub. Fishing New Books Ltd., London, England. 191 p.
- OKUDA, T. 1974. Características oceanográficas generales de la costa suroriental del Mar Caribe. 58-69. En Revisión de los datos oceanográficos en el Mar Caribe Suroriental especialmente en el margen continental de Venezuela. Universidad de Oriente, Cuadernos Azules 15, Caracas, Venezuela. 177 p.
- PAULY, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese y F. Torres Jr. 1998. Fishing down marine food webs. *Science*, 279 (5352): 860-863.
- ROJAS, M. 2012. Etnoictiología y aspectos pesqueros en comunidades costeras de la zona norte del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- RUEDA, D. 2000. Variación temporal de la distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica en la depresión oriental de la cuenca de Cariaco y sus relaciones con los aspectos hidrográficos del estrato superficial (1996-1998). Tesis de Maestría en Ciencias Marinas. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- TAYLOR, G. T., F. E. Müller-Karger, R. C. Thunell, M. I. Scranton, Y. Astor, R. Varela, L. Troccoli, L. Lorenzoni, K. A. Fanning, Sultan Hameed y O. Doherty. 2012. Ecosystem responses in the southern Caribbean Sea to global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 10.1073. 1-6 p. 

Este artículo es citado así:

Guevara, F., N. Eslava, L. W. González y L. Troccoli. 2014. La pesca artesanal del tahalí (*Trichiurus lepturus*) en Boca del Río, isla de Margarita, Venezuela. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 8(3): 175-182.

## Resumen curricular del autor y coautores

**FRANCISCO JAVIER GUEVARA MERCHÁN.** Finalizó sus estudios en 1988 en que le fue otorgado el Título de Técnico Agropecuario Mención Zootecnia Marina en La Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Venezuela. Desde año 2003 labora en el Área de Biología y Recursos Pesqueros del Instituto de Investigaciones Científicas de la Universidad de Oriente, Núcleo de Nueva Esparta y se desempeña como Asistente de Campo. Es miembro del sistema de Promoción al Investigador del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Nivel A 2011 y 2013). Su área de desempeño es la pesquería artesanal. Es coautor de 1 libro sobre pesca artesanal y 10 artículos científicos. Ha participado en 5 proyectos de Investigación enmarcados en convenios de la Universidad de Oriente con instituciones nacionales y extranjeras.

**NORA ELIZABETH ESLAVA VARGAS.** Realizó estudios en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú donde obtuvo el título de Biólogo Pesquero en 1976. Efectuó el postgrado en Venezuela, donde logró en 1990 el grado de Magister Scientiarum en Ciencias Marinas mención Biología Pesquera en la Universidad de Oriente, y en 2011 el grado de doctor en Ciencias mención Ecología en la Universidad Central de Venezuela. Desde 1993 labora en el Instituto de Investigaciones Científicas de la UDO y posee la categoría académica de Titular Nivel IV. Es miembro del sistema de Promoción al Investigador del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación desde 2002 (PPI Nivel I 2002, 2004, 2006, Nivel II 2008, Nivel B 2011 y 2013). Su área de especialización es dinámica de poblaciones y evaluación de recursos pesqueros. Ha dirigido 15 tesis de Licenciatura en Biología Marina. Es autora de 30 artículos científicos, 3 libros, 51 ponencias en congresos, ha dirigido 5 proyectos de investigación y participado en 3 proyectos nacionales y 2 internacionales, es árbitro de cuatro revistas científicas de circulación internacional.

**LEO WALTER GONZÁLEZ CABELLOS.** Posee el título de Biólogo Pesquero otorgado en 1976 por la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Realizó su maestría en Venezuela, donde obtuvo el grado de Magister Scientiarum en Ciencias Marinas mención Biología Pesquera en 1985 por la Universidad de Oriente (UDO) y en México alcanzó el grado de doctor en Ciencias en la especialidad de Ciencias Marinas en 2007 conferido por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Desde 1981 labora en el Instituto de Investigaciones Científicas de la UDO y ostenta la categoría académica de Titular Nivel V. Profesor Meritorio FAPUV-CONABA-CNU (Nivel II 1998 y Nivel III 2000). Es miembro del sistema de Promoción al Investigador del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación desde 2002 (PPI Nivel I 2002, 2004, 2006, Nivel II 2008, Nivel B 2011 y 2013). Su área de especialización es biología pesquera y pesquerías artesanales. Ha dirigido 25 tesis de Licenciatura en Biología Marina y 2 de Maestría. Es autor de 2 libros, 45 artículos científicos, 38 ponencias en congresos; además ha impartido 25 conferencias por invitación, ha dirigido 4 proyectos de investigación financiado por fuentes externas, 6 proyectos financiados por el Consejo de Investigación de la UDO, y es árbitro de ocho revistas científicas de circulación internacional. Es miembro ordinario del Colectivo Internacional de Apoyo al Pescador Artesanal (CIAPA/ICSF) desde 2010.

**LUIS ERNESTO TROCколи GHINAGLIA.** Concluyó su licenciatura en 1981, año en que le fue otorgado el título de Licenciado en Biología Marina por la Universidad de Oriente (UDO). Realizó su postgrado en Venezuela, donde obtuvo el grado de Magister Scientiarum en Ciencias Marinas mención Biología Marina en 1989 por la Universidad de Oriente (UDO) y en México donde adquirió el grado de doctor en Ciencias en la especialidad de Ciencias Marinas en 2001 por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Profesor Titular e Investigador Nivel V del Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Oriente desde 1981 y Profesor del postgrado en Ciencias Marinas del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Es miembro del sistema de Promoción al Investigador del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Nivel B 2011 y 2013. Su área de especialización es taxonomía y ecología del fitoplancton. Es autor de 45 artículos científicos y 3 capítulos de libros. Ha dirigido 35 tesis de Licenciatura en Biología Marina, 5 de maestría y 1 de doctorado. Ha participado en 5 proyectos de investigación en el área de ecología del fitoplancton, evaluación de impacto ambiental, proliferaciones masivas de fitoplancton y cambios climáticos. Actualmente jubilado y en estancia de investigación en Ecuador (Proyecto Prometeo).

# Inactivación de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia lamblia* sp. en agua mediante luz UV de bajo voltaje con un concentrador solar casero

Inactivation of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia lamblia* sp. in water by UV light low voltage with a home solar concentrator

MARÍA ELENA TORRES-OLAVE<sup>1</sup>, LUZ HELENA SANÍN-AGUIRRE<sup>2,4</sup> Y MARÍA TERESA ALARCÓN-HERRERA<sup>3</sup>

Recibido: Septiembre 17, 2014

Aceptado: Noviembre 15, 2014

## Resumen

**Objetivo.** Determinar el tiempo de exposición requerido a luz UV de bajo voltaje (longitud de onda de 250 nm, intensidad de 45 W) producida por un concentrador doméstico solar, para inactivar quistes y ooquistes de *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium* spp. **Métodos.** Se envasaron muestras de agua contaminada estandarizada, en botellas de 1 L y se expusieron a radiación ultravioleta con una lámpara de intensidad media (45 W) en diferentes tiempos (seis, siete, ocho, nueve, once y doce horas). Se utilizó un microscopio de contraste de fases para observar la refringencia de las estructuras de quistes y ooquistes, y determinando su viabilidad. **Resultados.** Se observó la desaparición de ooquistes viables a partir de las ocho horas de exposición, para ambos parásitos. **Conclusiones.** Se sugiere la alternativa de considerar a la radiación con luz UV de mediana intensidad usando concentradores caseros solares, en protocolos de desinfección caseros. Este sistema es de fácil aplicación, bajo costo, efectivo y ayudaría a la disminución de la alta tasa de enfermedades gastrointestinales hidrotansmisibles que aquejan a las personas más marginadas de nuestro país.

**Palabras clave:** *Cryptosporidium*, *Giardia lamblia*, concentrador solar, desinfección, radiación UV, bajo costo.

## Abstract

**Objective.** Determining the required exposure time to UV light low voltage (wavelength 250 nm, intensity of 45 W) produced by a home solar concentrator to inactivate cysts and oocysts of *Cryptosporidium* and *Giardia lamblia*. **Methods.** Standardized samples of contaminated water were packed in 1 L bottles and exposed to ultraviolet radiation with a medium intensity lamp (45 W) at different times (six, seven, eight, nine, eleven and twelve hours). It was used a phase contrast microscope to observe the refringence of the structures of cysts and oocysts, and determining their viability. **Results.** The disappearance of viable oocysts after eight hours of exposure to both parasites was observed. **Conclusions.** It is suggested to consider the alternative of radiation with UV light of medium intensity using home solar concentrators, in home disinfection protocols. This system is easy to use, inexpensive, and effective it would help to lower the high rate of waterborne gastrointestinal diseases that afflict the most marginalized people in our country.

**Keywords:** *Cryptosporidium*, *Giardia lamblia*, solar concentrator, disinfection, UV radiation, low cost.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Unidad Multidisciplinaria en Cuahtémoc. Carretera Cuahtémoc-Anáhuac Km 61.5, Calle Ejército Nacional 5220 Col. Ejido Cuahtémoc Anáhuac, Municipio de Cuahtémoc, Chihuahua. C.P. 31600.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Enfermería y Nutriología. Circuito Universitario. Campus II. 03125. Chihuahua, Chih. México.

<sup>3</sup> Centro de Investigación en Materiales Avanzados. CIMAV. Miguel de Cervantes 120. Complejo Industrial Chihuahua 31109. Chihuahua, Chih. México.

<sup>4</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: saninluz@yahoo.ca.

## Introducción

**L**as enfermedades vinculadas al agua ocurren directamente por ingestión de agua contaminada o explícitamente, por vectores dependientes de los recursos hídricos. Las variadas formas indirectas de transmisión de enfermedades dificultan medir exactamente en cifras el tamaño del problema, ya que no todos los casos son notificados a las agencias de salud.

La presencia de barreras entre el medio natural y el humano en forma de plantas potabilizadoras convencionales no ha eliminado totalmente el riesgo de determinadas enfermedades de transmisión hídrica (Thompson, 2000). En el caso de protozoarios, la ausencia de los métodos actuales de tratamiento resulta en un aumento de casos patológicos.

Cada año mueren en el mundo 2.2 millones de personas a causa de la diarrea, una de las 25 enfermedades asociadas al agua, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). La criptosporidiosis tiene un 4% de la mortalidad total del mundo y un 5% de las incapacidades. El agua contaminada es una de las principales causas de esta enfermedad (Boreham, 1987).

Cabe mencionar que el problema de la ingestión de agua contaminada es muy complejo y multifactorial, como lo muestran reportes de morbilidad de estos padecimientos, donde no se observaron diferencias en la prevalencia de criptosporidiosis y giardiasis ( $P > 0.05$ ) (Ayalew, 2008).

El problema de las patologías derivadas de la aparición de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia lamblia* en el agua potable no radica tanto en su virulencia sino en la carencia de protección en que se encuentra la población expuesta, frente a unos protozoarios que atraviesan con relativa facilidad los procesos de las plantas potabilizadoras (cloración, filtración a través de lecho profundo, filtración a través de carbón activado, filtración por cartucho, suavización y ozonificación del agua) y para los que, por lo menos en el caso de la criptosporidiosis, no existe un tratamiento farmacológico eficaz

(Messner, 2003). Para la giardiasis existe un tratamiento eficaz con diversos fármacos (clorhidrato de quinacrina, furozolidona, metronidazol), los cuales arrojan buenos índices de curación y en caso de fracaso cualquiera de ellos se puede administrar de nuevo después de transcurridas dos semanas (Núñez-Fernández, 2004); sin embargo, el índice de reinfección es alto, lo que aumenta el costo del tratamiento contra la giardiasis (Giraldo-Gómez, 2005). En el caso de la criptosporidiosis, el daño producido en humanos queda evidenciado en las tasas de mortalidad. Particularmente, en el estado de Chihuahua hacen presencia en grupos vulnerables de menores y ancianos ubicados geográficamente en jurisdicciones sanitarias como El Fuerte, Creel y Cuauhtémoc, con tasas de mortalidad de 10.2, 9.6 y 1.2 para grupo de edad de 1-4 años, y para el grupo de la tercera edad, las jurisdicciones sanitarias de El Fuerte, Creel, Cuauhtémoc, Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, Camargo, Parral y Juárez, con 35.90, 20.32, 16.55, 13.99, 11, 10.36, 9.54 y 8.05, respectivamente (Torres-Olave, 2008).

La intensidad de la radiación ultravioleta se expresa en microvatios por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) y la dosis en microvatios segundo por centímetro cuadrado ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ) (intensidad de radiación x tiempo). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo.

No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes varía entre 6,000 y 10,000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Las normas para la dosificación de luz ultravioleta en diferentes países varían entre 16,000 y 38,000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  (Solsona, 1983).

Se ha observado que cuando aguas microbiológicamente contaminadas son almacenadas en botellas transparentes y expuestas a la luz solar intensa durante más de seis horas, pueden convertirse en agua microbiológicamente aceptables para consumo humano (Gómez-Couso, 1999; Giraldo-Gómez, 2005; McGuian, 2006). Lo anterior se explica puesto que la radiación ultravioleta de origen solar (250-400 nm), ya sea natural o artificial, ha sido probada en sus efectos mutagénicos sobre el ácido desoxirribonucleico (ADN) de los protozoarios; las bases de purinas y pirimidinas, al absorber 250 a 270 nm se dañan y forman dímeros pirimidínicos sobre el ADN del protozoario que provoca un proceso de fisión celular e impide la reproducción del mismo (Gómez-Couso, 1999; Morita, 2002).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) indica que el hallazgo de 1 a 10 quistes de *Giardia lamblia* y de 1 a 30 ooquistes (ooquiste es la fase esporulada de *Cryptosporidium*, este es un estado que puede sobrevivir por largos periodos de tiempo fuera del hospedador, por su alta resistencia a factores del medio ambiente, y el quiste de *Giardia* es la forma vegetativa infectante y de resistencia que tiene el parásito al medio ambiente) de *Cryptosporidium* spp. en agua potable pueden provocar síntomas clínicos (Chin, 2001). Diferentes estudios demuestran que el agua desinfectada por medio de cloro no alcanza a matar quistes de algunos parásitos, entre ellos *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium* spp .

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha instaurado el Plan de Seguridad del Agua (PSA) con el objetivo fundamental de establecer mecanismos estratégicos para mejorar la calidad del agua en América Latina (Núñez-Fernández, 2004). La difusión de métodos alternativos como la adición de sustancias químicas, el tratamiento con ozono, la ebullición y algunos tipos de filtración se ve limitada debido a los problemas asociados con la confiabilidad, operación, mantenimiento, costos, sabor resultante y, particularmente en el caso de la ebullición, la disponibilidad de fuentes de abastecimiento de combustible. Uno de los métodos más simples y menos costosos de

proveer de agua segura para el consumo humano a las comunidades rurales es el uso de radiación ultravioleta para inactivar bacterias y otros patógenos. El uso de la luz ultravioleta es seguro y no presenta riesgos de manipulación, el agua tratada no se altera ni en olor ni sabor, la desinfección es rápida, aunque requiere de energía eléctrica para las lámparas. La radiación ultravioleta es efectiva contra un gran espectro de microorganismos y no genera subproductos en su utilización ni al agua ni al medio, además la tecnología actual permite obtener bajos niveles de energía eléctrica en regiones apartadas, con el uso de paneles fotovoltaicos (McGuian, 2006). Se considera que para un inactivador de luz UV de nivel casero, los costos de operación y de capital amortizados pueden estar en el rango de US\$ 10 a \$ 100 por año y por familia (Solsona, 1983). Se realizó el presente trabajo con el fin de comprobar la eficiencia de desinfección del agua con metodologías alternativas usando luz UV (longitud de onda de 250 nm y una intensidad de 45 W) con un concentrador solar para inactivar quistes y ooquistes de *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium* spp .

## Materiales y métodos

### *Preparación de la muestra sintética.*

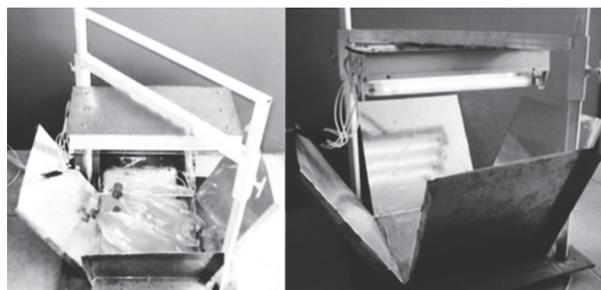
Agua esterilizada, a la cual se le agregaron 500 µl de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia lamblia* (se utilizó una concentración stock de quistes y ooquistes/mL, Waterborne™) por litro, se colocaron en botellas de politereftalato de etileno (PET) de 1 L. Se envasó igualmente agua esterilizada sin agregado, como control.

### *Diseño del experimento*

*Tipo de diseño.* El diseño experimental consistió en tres muestras contaminadas y una cuarta muestra control para cada tiempo de exposición. El nivel de exposición se estableció como: radiación con lámparas UV con una longitud de onda de 230 nm y una intensidad media (45 W). Todos los tratamientos tuvieron tres repeticiones con exposición independiente de 6, 7, 8, 9, 11 y 12 horas de acuerdo a la metodología descrita por Grocock (1984).

**Procedimiento.** Se utilizó un concentrador de paredes planas con capacidad para tres botellas de plástico de dos litros (Martín, 1999), el cual se muestra en la Figura 1. Este concentrador consta de una base de madera de 55 cm x 55 cm, cuatro aletas planas también de madera de 35 cm x 35 cm, cada una forrada de poliéster adhesivo plateado (Maylar), con una inclinación de 60° con respecto a la horizontal. En su parte superior se colocan tres lámparas de luz UV de 15 W.

**Figura 1.** Se muestra el concentrador de luz UV. En la parte superior consta de una base para tres lámparas de luz UV de 15 watts (45 watts, presión media).



Posteriormente, se tomaron muestras con micropipetas previamente esterilizadas de 50 µl para cada una de las botellas, en los diferentes tiempos.

El siguiente paso fue la determinación de quistes y ooquistes de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia lamblia*, que comprendió la inmunoseparación, tinción fluorescente y tinción con el colorante vital Yoduro de Propidio (El Yoduro de Propidio es un fluorocromo que se intercala en los ácidos nucleicos incrementando sensiblemente su fluorescencia. La membrana de las células vivas no permite su paso al interior del citoplasma, de manera que únicamente teñirá las células que tengan dañada su membrana (muertas) y los núcleos aislados) (USEPA, 1996) y observación al microscopio.

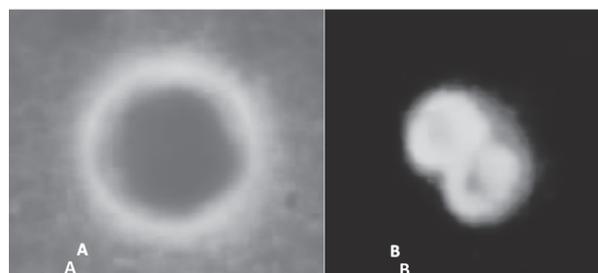
Las muestras previamente tratadas con fluoresceína, se observaron en un microscopio de fluorescencia Hitachi KF-D50 color, digital, acoplado con cámara, con un filtro con rango de excitación, 450 a 490 nm. Se utilizó el objetivo de

contraste de fases para observar la refringencia o no de las estructuras, confirmando con esta característica la viabilidad de las mismas. Durante la lectura, las láminas se mantuvieron en cámara húmeda y en condiciones de oscuridad. Los quistes se clasificaron como viables (con las membranas del quiste sin ruptura) cuando presentaron una coloración verde brillante (Figura 2) y como no viables cuando presentaron una coloración roja (Rodgers, 1995), como se ilustra en la Figura 3. Al momento de la observación al microscopio se llevó un doble conteo para cada parásito. Se consideró como viable o positiva, una muestra que presentara al menos un quiste viable.

**Análisis:** se refiere a los hallazgos de positividad o no en las muestras, en cada uno de los tiempos. No se aplican pruebas estadísticas ni otros cálculos, es un hallazgo visual cualitativo al microscopio.

La técnica de conteo se llevó a cabo observando en el microscopio la totalidad de cada campo en la lámina, siguiendo un modelo sistemático, de arriba abajo y de izquierda a derecha (USEPA, 1996).

**Figura 2.** A. Ooquiste de *Cryptosporidium* spp. No viable. Tinción con PI.100x B. Ooquistes de *Cryptosporidium* spp. Viable. Inmunofluorescencia magnética. 100x. Control.



## Resultados y discusión

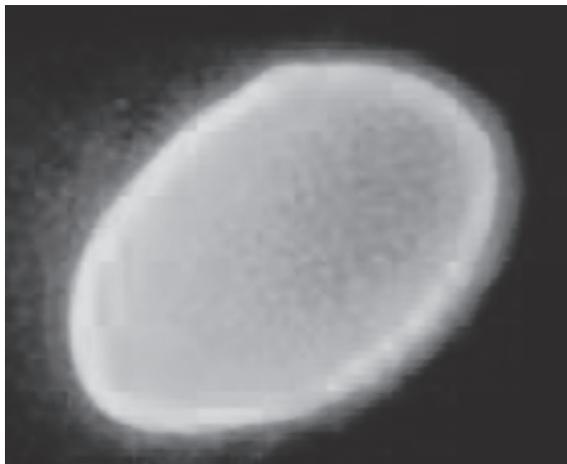
Se observó presencia de ooquistes viables, es decir de muestras positivas, hasta una duración de siete horas de tratamiento de luz UV (Cuadro 1). A partir de las ocho horas no se observó ningún ooquiste viable, tanto para *Cryptosporidium* spp. como para *Giardia lamblia* en todas las muestras y repeticiones subsiguientes.

**Cuadro 1.** Resultados de cada una de las observaciones para *Cryptosporidium* spp. y *Giardia* sp.

	<i>Cryptosporidium</i>				<i>Giardia</i>			
	6 HORAS				6 HORAS			
	TRATADOS		CONTROL		TRATADOS		CONTROL	
	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables
Primera repetición	1	N/P	6	5	N/P	N/P	N/P	N/P
Segunda repetición	14	7	12	3	8	7	N/P	N/P
Tercera repetición	4	2	20	5	3	1	N/P	N/P
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>9</b>	<b>38</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>
	7 HORAS				7 HORAS			
	TRATADOS		CONTROL		TRATADOS		CONTROL	
	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables
Primera repetición	5	3	7	2	1	N/P	5	N/P
Segunda repetición	10	5	12	4	N/P	3	7	2
Tercera repetición	7	2	9	3	4	5	1	5
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>28</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>7</b>
	8 HORAS				8 HORAS			
	TRATADOS		CONTROL		TRATADOS		CONTROL	
	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables
Primera repetición	2	2	4	1	7	N/P	3	2
Segunda repetición	6	10	5	3	2	2	1	4
Tercera repetición	1	2	7	3	2	4	N/P	4
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
	9 HORAS				9 HORAS			
	TRATADOS		CONTROL		TRATADOS		CONTROL	
	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables
Primera repetición	6	4	19	4	N/P	N/P	N/P	N/P
Segunda repetición	4	5	6	5	N/P	N/P	N/P	N/P
Tercera repetición	N/P	8	5	8	N/P	N/P	N/P	N/P
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>
	11 HORAS				11 HORAS			
	TRATADOS		CONTROL		TRATADOS		CONTROL	
	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables
Primera repetición	3	5	3	8	N/P	N/P	N/P	N/P
Segunda repetición	5	2	2	3	N/P	N/P	N/P	N/P
Tercera repetición	4	8	N/P	10	N/P	N/P	N/P	N/P
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>
	12 HORAS				12 HORAS			
	TRATADOS		CONTROL		TRATADOS		CONTROL	
	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables	Viables	No Viables
Primera repetición	1	1	23	10	N/P	N/P	N/P	N/P
Segunda repetición	8	18	9	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P
Tercera repetición	N/P	4	23	2	N/P	N/P	N/P	N/P
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>23</b>	<b>55</b>	<b>12</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>	<b>N/P</b>

\* Dado el número de observaciones N/P se optó por crear un dato con la sumatoria de todos los controles respetando la respuesta viable/no viable.  
N/P. No se presentó la observación

**Figura 3.** Quiste de *Giardia lamblia* viable. Inmunofluorescencia magnética. 100x. Control.



El resultado de la exposición de los microorganismos a la luz UV mostró que la viabilidad desaparece a partir de las ocho horas de exposición para ambos parásitos (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium* spp.). Como cualquier otro desinfectante, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño. No es fácil determinar con exactitud el tiempo de contacto en plantas potabilizadoras (ya que este depende del tipo de flujo y de las características del equipo), pero el periodo debería estar relacionado con la dosificación necesaria. Lorenzo-Lorenzo (1993), Gómez-Couso (1999), Freire-Santos (2000) y Méndez-Hermida (2007), encontraron a la viabilidad disminuida significativamente en periodos de exposición de 8 a 123 horas de luz natural intensa; otros autores, en estudios en vivo (McGuian, 2006), demostraron que tanto *Giardia lamblia* como *Cryptosporidium* spp. dejaron de ser infectantes después 10 horas de exposición a irradiación solar simulada mediante dispositivos con mayor intensidad de la requerida en este trabajo.

## Conclusiones

Este es un trabajo pionero que destaca por su sencillez y bajo costo, que puede implementarse fácilmente en viviendas de escasos recursos del norte del país

aprovechando las horas de exposición solar que estas regiones presentan; es un sistema de fácil aplicación con una efectividad de desinfección a partir de las ocho horas de exposición que, de ser usado en zonas aisladas y marginadas, ayudaría a la disminución de la alta tasa de enfermedades gastrointestinales hidrotansmisibles que aquejan a las personas más relegadas del norte de México. Se sugiere la alternativa de considerar a la radiación con luz UV de mediana intensidad usando concentradores solares, en protocolos de desinfección caseros.

## Literatura citada

- ALARCÓN, M. B. 2005. Recuento y determinación de viabilidad de *Giardia* spp. y aguas potables y residuales en la cuenca alta del río Bogotá. *Biomédica*, 353-356.
- AYALEW, D. B. 2008. Cryptosporidium and Giardia infection and drinking water sources among children in Lege Dini, Ethiopia. *Tropical Medicine & International Health*. Vol. 13 No.4, 472-475.
- BOREHAM, P. 1987. Transmission of Giardia by food and water. *Food Technol*, 61- 63.
- CHIN, J. 2001. *El control de las enfermedades transmisibles*. Washington, D.C: PAHO Publications .
- DÍAZ-CINCO, M. L.-M.-H.-R. 2003. Incidencia y viabilidad de *Cryptosporidium parvum* en el agua potable de ciudad Obregón, Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 67-72.
- FREIRE-SANTOS, F. O.-L.-C.-M. 2000. Study of the combined influence of environmental factors on viability of cryptosporidium parvum oocysts in water evaluated by fluor ogenic vital dyes and excystation techniques. *Vet Parasitol*, 89.
- GIRALDO-GÓMEZ, J. L.-M. 2005. Prevalence of giardiasis and intestinal parasites in pre-school children from homes being attended as part of a state programme in Armenia. *Revista de Salud Pública*, 327-338.
- GÓMEZ-COUSO, H. F.-S.-I.-M. 1999. Efficacy of the solar water disinfection method in turbid waters experimentally contaminated with *Cryptosporidium parvum* oocysts under real field conditions. *Tropical Medicine and International Health*, 620-627.
- GRIMALT, J. K. 2001. Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga. *Gaceta Sanitaria*, 48-53.
- GROOCCOCK, N. 1984. Disinfection of drinking water by ultraviolet light. *J. of the Institute of Water Engineers and Scientists*, 163-172.
- LORENZO-LORENZO, M. A.-M.-M.-O. 1993. Effect of ultraviolet disinfection of drinking water on the viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts. *J Parasitol*, 67-70.
- MARTÍN, A. 1999. Desinfección del agua por radiación solar: proyecto IMTA/CNA. *Desinfección del agua por radiación solar: proyecto IMTA/CNA*. Cuernavaca, Morelos, Cuernavaca, Morelos, Chihuahua: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- McGUIAN, M.-H. J.-H.-M. 2006. Bach Solar disinfection (SODIS) inactivates oocysts of *Cryptosporidium parvum* and cysts of *Giardia muris* in drinking water. . *J. Appl. Microbiol.* No.1.
- MÉNDEZ-HERMIDA, F. A.-M. 2007. Disinfection of *Cryptosporidium parvum* oocysts in drinking water using natural sunlight and the photocatalyst TiO<sub>2</sub>. . *J Photochem Photobiol B.*, 105-111.
- MESSNER, M. Y. 2003. *Cryptosporidium* and *Giardia* occurrence in ICR drinking water sources: statistical analysis of ICR data . *Information Collection Rule Data Analysis* (pp. 463-481). Denver CO: AWWA.
- MORITA, S, N. H. 2002. Efficacy of UV irradiation in inactivating *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Appl Environ Microbiol.* Vol.68 No.11, 5387-93.
- NÚÑEZ-FERNÁNDEZ, F. 2004. Estudio de factores asociados con la reinfección por *Giardia lamblia* en niños de círculos infantiles [Doctoral]. *Estudio de factores asociados con la reinfección por Giardia lamblia en niños de círculos infantiles [Doctoral]*. La Habana: Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri., Cuba.
- RODGERS, M. F. 1995. Identification of algae which interfere with the detection of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts and a method for alleviating. *Appl. Environ. Microbiol.* 3759-3763.
- SOLSONA, F. Y. 1983. *Radiación Ultravioleta*. Washington: OPS/CEPIS.
- THOMPSON, R. 2000. *Giardiasis as a re-emerging infectious disease and its zoonotic potential. International Journal for Parasitology.* Vol. 30 No. 12-13, 1259-1267.
- TORRES-OLAVE, M. E. 2008. Asociación Geográfica entre la mortalidad por Criptosporidiosis y Deficiencias en la nutrición en el Estado de Chihuahua (México). *Revista en Salud Pública y Nutrición*.
- USEPA. 1996. *Ultraviolet light disinfection technology in drinking water application an overview*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Ground Water and Drinking Water. 

Este artículo es citado así:

Torres-Olave, M. E., L. H. Sanín-Aguirre, y M. T. Alarcón-Herrera. 2014. Inactivación de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia lamblia* sp. en agua mediante luz UV de bajo voltaje con un concentrador solar casero. *TECNOCENCIA Chihuahua* 8(3): 183-189.

## Resumen curricular del autor y coautores

**MARÍA ELENA TORRES OLAVE.** Bióloga de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Pastizales de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Doctora en Ciencia y Tecnología Ambiental del Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados (CIMAV). Posdoctorado en distribución de especies. PTC titular "C" de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en el Programa educativo de Geoinformática. Lideresa del Cuerpo Académico 094-Geoinformática aplicada a procesos geoambientales. Se dedica a la investigación y a la docencia. Áreas de interés: distribución de flora y fauna, manejo de fauna silvestre, geografía médica y cambio climático.

**LUZ HELENA SANÍN.** Médico cirujano de la Universidad Nacional de Colombia. Maestro en Salud Pública de la Escuela de Salud Pública de México. Diplomado en Salud en el Trabajo de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Doctor en Ciencias en Salud Pública con área de concentración en Epidemiología Ambiental del Instituto Nacional de Salud Pública de México. Postdoctorado en ambiente y reproducción de la Universidad de Toronto. Académico titular C de la Universidad Autónoma de Chihuahua e Investigador Honorario del INSP en el área de Salud Ambiental. Investigador nacional del SNI. Responsable del cuerpo académico UACH-28 Salud, Trabajo y Ambiente. Desde hace más de 30 años se dedica a la investigación y la docencia. Áreas de interés: métodos, epidemiológico y estadístico. Epidemiología ambiental y ocupacional, con especial interés en plomo, mercurio y otros metales. Evaluación de riesgo ambiental. Ambiente y nutrición. Varias publicaciones en estas áreas.

**MARÍA TERESA ALARCÓN-HERRERA.** Ingeniera ambiental, profesora y botánica mexicana del Centro de Investigaciones de Materiales Avanzados, Centro Público CONACYT. Desarrolla actividades académicas en el Laboratorio de Energías Renovables y Protección del Ambiente. Realizó la licenciatura en Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de Durango. Obtuvo su maestría en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México y en 1994, el doctorado en Ingeniería Ambiental por la Universidad de Windsor, Canadá. En 1979, realizó una especialización en tratamiento de agua en el Instituto de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia; y en la Universidad de Hannover, Alemania, en 1985. Investigadora Nacional Nivel 2 del SNI. Amplia experiencia en el tema de agua.

# 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 con 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 cumpla con el formato y contenido establecido por las normas editoriales de *TECNOCENCIA Chihuahua*. Una vez revisado, los editores asociados determinarán su viabilidad para ser publicado; enseguida, se 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 la evaluación de escritos 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 el 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. Sólo 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 presentación, firmada debidamente por los autores, deberá entregarse personalmente en las oficinas de la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua; 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 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 2003 o posterior, para Windows XP o versión más reciente; todo texto se preparará utilizando la fuente Arial en 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 cm para el resto. Se recomienda no utilizar sangría al empezar cada párrafo del manuscrito. Los manuscritos de las diferentes categorías de trabajos que se publican en la revista deberán contener los componentes que a

continuación se indican, empezando cada uno de ellos en página aparte.

- a. Página de presentación.
- b. Resumen en español (con palabras clave en español).
- c. Resumen en inglés, abstract (con palabras en inglés, keywords).
- d. Texto (capítulos y su orden).
- e. Agradecimientos (opcional).
- f. Literatura citada.

**Página de presentación.** 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; 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.

**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<sup>1,3</sup>, Rey Manuel Quintana-Martínez<sup>1</sup>  
y Martín Martínez Salvador<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. Chihuahua, Chih., México, 31031. Tel. (614) 434-0303.

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

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: cpinedo@uach.mx.

**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; por ejemplo: «*Estudio de . . . ; Influencia de la . . . , Efecto del . . . ; Relación de...*», entre otros.

**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 resumen proporciona valiosa información del estudio facilita al lector decidir si lee todo el escrito. En la segunda página se debe incluir un resumen que no exceda 250 palabras. Aquí se indicarán la justificación y objetivos del estudio; una breve descripción de la metodología empleada; una descripción de 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 ha*), 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 este elemento del escrito científico.

### Introducción

- a) Es importante resaltar el *tema* 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 investigación, 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

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

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).
- 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 este apartado, se puede dar el crédito a personas o instituciones que apoyaron, financiaron o contribuyeron de alguna manera a la realización del trabajo. No se debe mencionar el papel de los coautores en este apartado.

### Literatura citada

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

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

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

### Artículos científicos de revistas periódicas

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

### Capítulos de libros

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

### Libros

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

### Memorias de Congresos Científicos

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

### Boletín, informe, publicación especial

- Hoagland, D. R. and D. I. Arnon. 1980. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Circ. 347. 50 p.
- Alvarado, J. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 2. 150 p.
- US Environmental Protection Agency (USEPA). 1981. Process design manual for land treatment of municipal wastewater. USEPA Rep. 625/1-77-008 (COE EM1110-1-501). 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* y 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 solidamente 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.

#### Preparación de cuadros y figuras

Se recomienda insertar los cuadros y figuras, numerados progresivamente, en el lugar correspondiente del texto. Los cuadros y gráficas deberán dejarse como objetos editables (no como imágenes insertadas), con el propósito de modificarlos 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. A continuación se presenta un ejemplo de cuadros con información estadística:

#### Figuras

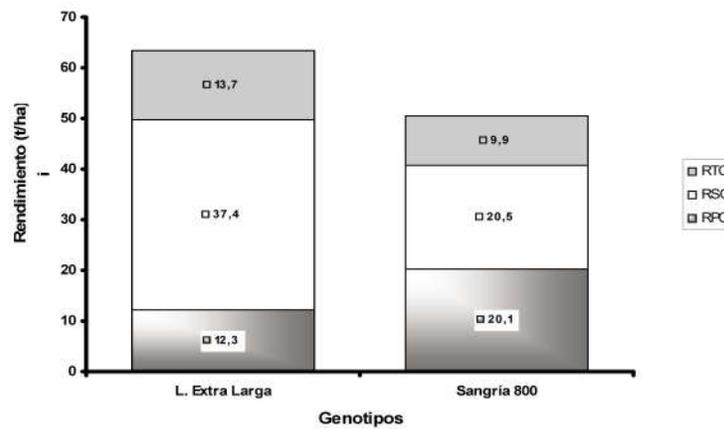
En las figuras no se debe duplicar la información presentada en los cuadros o viceversa. Se recomienda el uso de medidas de acuerdo al Sistema Métrico Decimal y las abreviaturas utilizadas deberán apearse a las recomendaciones que aparecen en la tabla que se anexa al presente documento.

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 e imágenes incluidas en el manuscrito deben ser en blanco y negro, en formato *tif* ó *jpg* con 300 puntos de resolución y el archivo original por separado.

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

Fuente de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrado medio	F <sub>c</sub> calculada	Significancia P <sub>r</sub> > F <sub>t</sub>
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 <sub>(%)</sub>	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 <sub>50</sub>	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 <sup>-1</sup>	Kilómetro por hora
µm	Micrómetro(s) ó micra(s)	t.ha <sup>-1</sup>	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 ejemplos siguientes: Durazno (*Prunus persica* L. Batsch), Tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), Hongo fitopatógeno (*Pythium aphanidermatum* Edson), Palomilla de la manzana (*Cydia pomonella* L.), en laboratorio *in vitro*, sin restricción *ad libitum*. 

#### OBJETIVO DEL PROGRAMA

Formación integral del recurso humano en actividades de generación, validación y/o transferencia del conocimiento, que den respuesta a la problemática de los sistemas de producción animal, el uso sustentable y el aprovechamiento de los recursos naturales en México.

#### LÍNEAS DE GENERACIÓN Y APLICACIÓN DE CONOCIMIENTO

- Monitoreo y evaluación de los recursos naturales.
- Sistemas de alimentación animal, microbiología gastrointestinal y fisiología digestiva.
- Biotecnologías reproductivas y esquemas de conservación y mejoramiento genético.
- Control de calidad y aseguramiento de los productos de origen animal.

#### PERFIL DE EGRESO

El Doctor in Philosophia es un especialista del más alto nivel académico, con sentido ético y compromiso social, que posee e integra conocimientos, habilidades y actitudes para desempeñarse eficientemente y de manera efectiva en actividades de investigación científica, aplicación, difusión y transferencia de conocimientos para la solución integral de los problemas más complejos de la industria pecuaria nacional y de los recursos naturales.

#### En general cuenta con dominios de competencias para:

- La identificación de problemas relevantes
- La síntesis y comunicación efectiva del conocimiento
- El desarrollo independiente de investigación
- El diseño, aplicación y evaluación de estrategias basadas en el conocimiento para la solución de problemas en su área de especialidad
- La generación y análisis de información pertinente
- La colaboración para el trabajo en equipos disciplinarios y multidisciplinarios
- La implementación de dinámicas grupales para la identificación de problemas relevantes y la propuesta de acciones estratégicas de solución
- La comunicación efectiva de contenidos significativos en ambientes formales de enseñanza-aprendizaje, tanto presencial como virtual
- La gestión de la investigación y el desarrollo tecnológico

#### De acuerdo con su área de especialidad cuenta con dominios para:

- El diseño y evaluación de planes de uso sustentable, monitoreo y conservación de recursos naturales
- El desarrollo de planes de manejo sustentable de los pastizales para la producción animal y su aprovechamiento integral
- El desarrollo de procesos y productos biotecnológicos aplicables a la alimentación y manejo nutricional del ganado
- El desarrollo y complementación de modelos que fundamentan la fisiología digestiva y el metabolismo en los animales bajo diferentes condiciones del entorno
- El estudio de las interacciones de la nutrición con la reproducción, la salud y la calidad de los productos y su relación con la respuesta biológica del animal y la eficiencia en la producción
- El desarrollo y complementación de modelos que fundamentan los procesos reproductivos de los animales bajo diferentes condiciones del entorno
- El diseño y evaluación holística de esquemas innovadores de mejora y conservación de recursos genéticos animales bajo condiciones de sustentabilidad y la incorporación de tecnologías apropiadas
- La variación y adaptación de procesos tecnológicos para prevenir y solucionar problemas de calidad e inocuidad en las industrias cárnica y láctea e innovar productos que contribuyan a la salud del consumidor



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA  
Facultad de Zootecnia y Ecología

PROGRAMA DE:

# DOCTORADO



mail:

ahchavez@uach.mx  
pmanillas@uach.mx  
dplascencia@uach.mx

Tel: (614) 434-0303 y 434-1448

www.fz.uach.mx

www.posgrado.fz.ue.uach.mx



COMACY  
FIPG  
SER-COINAGYT

## DOCTORADO

### Requisitos de ingreso

#### Primera fase

Poseer título o acta de examen profesional del grado anterior. Promedio mínimo de 8.0 en estudios anteriores. Presentación del EXANI III de CENEVAL (mínimo 1000 puntos).

Acreditar 450 puntos del TOEFL o el nivel correspondiente del Centro de Aprendizaje de Idiomas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

#### Segunda fase

Presentar examen de conocimiento que aplica la Secretaría de Investigación y Posgrado. Realizar entrevista con el Comité de Admisión

#### PLAN DE ESTUDIO

##### CURSOS BÁSICOS (mínimo 4 créditos)

Bioquímica Avanzada  
Biología Celular Avanzada  
Relación Planta-Ambiente  
Análisis Bioeconómico de los Sistemas de Producción  
Optativa

##### CURSOS ESTADÍSTICA (mínimo 8 créditos)

Diseño de Experimentos II  
Métodos No Paramétricos  
Modelos Lineales  
Análisis de Datos Categóricos  
Regresión No Lineal  
Técnicas Multivariadas  
Series de tiempo  
Bioinformática II  
Modelado y Simulación

##### CURSOS FORMATIVOS (mínimo 12 créditos más tesis)

Seminario Doctoral  
Temas Especiales de Investigación  
Proyectos Especiales de Investigación  
Tópico Doctoral  
Escritura de Documentos Científicos  
Seminario Departamental  
Seminario de Lengua Extranjera  
Disertación Doctoral (30 créditos)  
Estancia de Investigación



## ÁREA DE ESPECIALIZACIÓN

(Mínimo 12 créditos)

### RECURSOS NATURALES

Introducción a la Modelación Ambiental Compleja  
Geomática en Recursos Naturales  
Tópicos de Manejo de Pastizales  
Tópicos en Ecología de Recursos Naturales  
Avances en Manejo de Pastizales  
Avances en Manejo de Recursos Naturales  
Evaluación de Impacto Ambiental en Recursos Naturales  
Ecología Microbiana

### NUTRICIÓN ANIMAL

Fisiología Digestiva  
Los Minerales en Nutrición Animal  
Las Vitaminas en Nutrición Animal  
Metabolismo de las Proteínas  
Microbiología Gastrointestinal  
Bioenergética  
Tópicos en Biotecnología Nutricional  
Modelado Matemático en Nutrición Animal

### REPRODUCCIÓN Y GENÉTICA ANIMAL

Fisiología y Endocrinología de la Reproducción Avanzada  
Embriogénesis  
Perinatología  
Genética Cuantitativa  
Metodologías para la Genética Cuantitativa  
Aplicaciones de la Biotecnología en el Mejoramiento Genético

### TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL

Procesamiento y Preservación de la Carne II  
Diseño de Rastros, Empacadoras y Plantas de Procesado  
Análisis Especiales de la Carne  
Tópicos Avanzados en Ciencias de la Carne  
Procesamiento y Preservación de la Leche II  
Análisis Especiales de la Leche  
Tópicos Avanzados en Ciencias de la Leche I

UACH  
1954 LX 2014  
ANIVERSARIO

