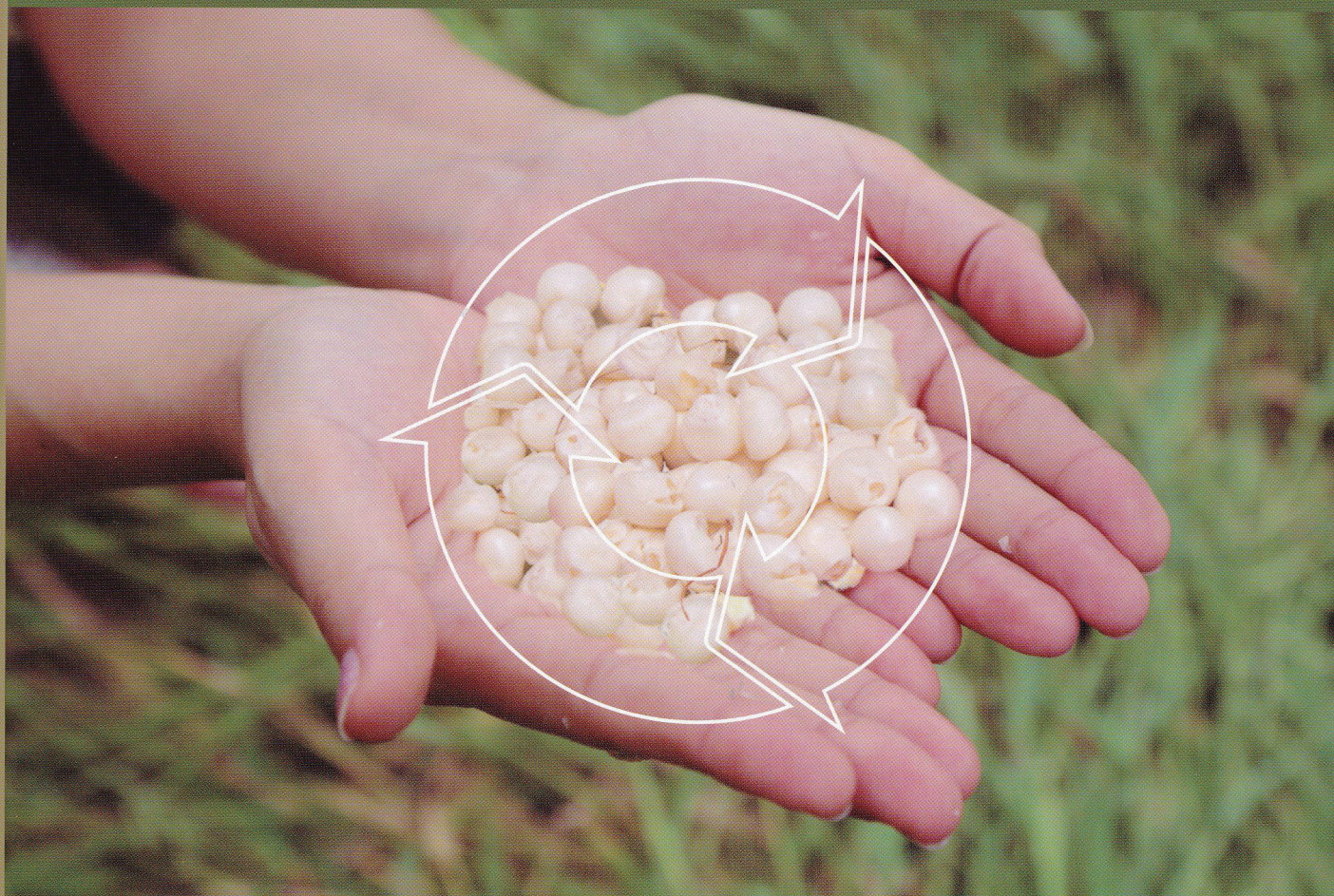


Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México

Hacia un enfoque integral de la producción, la dieta,
la salud y la cultura en beneficio de la sociedad



Daniel Martínez-Carrera
Javier Ramírez Juárez
Editores

Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México

*Hacia un enfoque integral de la producción, la dieta,
la salud y la cultura en beneficio de la sociedad*

Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México

*Hacia un enfoque integral de la producción, la dieta,
la salud y la cultura en beneficio de la sociedad*

Daniel **Martínez-Carrera**

Javier **Ramírez Juárez**

EDITORES



bba BIBLIOTECA BÁSICA
DE AGRICULTURA

Título de la obra:

Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México

Editores:

© Daniel Martínez-Carrera

Javier Ramírez Juárez

© 1^{ra} Edición, 2016

Coordinación editorial: Judith Sandoval

Maquetación: Alejandro Rojas Sánchez

Diseño de cubiertas: Rogelio Covarrubias Romo

Biblioteca Básica de Agricultura:

Editorial del Colegio de Postgraduados

Colegio de Postgraduados

Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, A. C.

ISBN: 978-607-715-314-6 Colegio de Postgraduados

© Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción, total o parcial de este libro ni el almacenamiento en un sistema informático, ni la transmisión de cualquier forma o cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia, registro u otros medios sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *copyright*.

Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni de la Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

Impreso en México - Printed in Mexico
PRINTING ARTS MEXICO, S. de R. L. de C. V.
Calle 14 no. 2430, Zona Industrial
Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44940
Fax: 3810 5567
www.tegrafik.com
RFC: PAM 991118 DGO

Tiraje: 1 000 ejemplares.

Cita bibliográfica:

Martínez-Carrera, D. y J. Ramírez Juárez (Eds.). 2016. *Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México*. Editorial del Colegio de Postgraduados-AMC-CONACYT-UPAEP-IMINAP, San Luis Huexotla, Texcoco, México. 856 pp.

Contiene 131 Figuras y 181 Tablas.

“Los Cinco Soles:

En la leyenda, propia del altiplano, hay un proceso evolutivo de hombres cada vez más perfectos, que van de la barbarie a la civilización; del alimento con bellotas y piñones al maíz. Los gigantes eran recolectores que comían bellotas. Los hombres del Segundo Sol se alimentaban con piñones y tampoco cultivaban la tierra. Quienes les siguieron comían maíz de agua y los del Cuarto Sol, teocentli, es decir, granos de teosinte. Los hombres del Quinto Sol domesticaron el teosinte y lo convirtieron en maíz...”

El Maíz, Fundamento de la Cultura Popular Mexicana (1982).

“Al cultivar el maíz, el hombre también se cultivó. Las grandes civilizaciones del pasado y la vida misma de millones de mexicanos de hoy, tienen como raíz y fundamento al generoso maíz. Ha sido un eje fundamental para la creatividad cultural de cientos de generaciones; exigió el desarrollo y el perfeccionamiento continuo de innumerables técnicas para cultivarlo, almacenarlo y transformarlo; condujo al surgimiento de una cosmogonía y de creencias y prácticas religiosas que hacen del maíz una planta sagrada; permitió la elaboración de un arte culinario de sorprendente riqueza; marcó el sentido del tiempo y ordenó el espacio en función de sus propios ritmos y requerimientos; dio motivo para las más variadas formas de expresión estética; y se convirtió en la referencia necesaria para entender formas de organización social, maneras de pensamiento y conocimiento y estilos de vida de las más amplias capas populares de México. Por eso, en verdad, el maíz es el fundamento de la cultura popular mexicana. Hay, pues, por todo lo anterior, lo que podría llamarse un proyecto popular en relación con el maíz. Esta planta, con toda la compleja red de relaciones económicas, sociales y simbólicas que la tienen por centro, adquiere un significado profundo para el pueblo mexicano; es un bien económico fundamental y un alimento insustituible, pero es mucho más que eso. Frente al proyecto popular, abiertamente opuesto a él, se yergue otra manera de concebir el maíz, otro proyecto. Éste pretende desligar al maíz de su contexto histórico y cultural para manejarlo exclusivamente en términos de mercancía y en función de intereses que no son los de los sectores populares. Hace del maíz un valor sustituible, intercambiable y aún prescindible. Porque excluye, precisamente, la opinión y el interés de los sectores populares, los que crearon al maíz y han sido creados por él...”

Presentación, Guillermo Bonfil Batalla (1935-1991).

“La grandeza de México es que el pasado siempre está vivo. No como una carga, no como una losa, salvo para el más crudo ánimo modernizador. La memoria salva, escoge, filtra, pero no mata. La memoria y el deseo saben que no hay presente vivo con pasado muerto, ni habrá futuro sin ambos. Recordamos hoy, aquí. Deseamos aquí, hoy. México existe en el presente, su aurora es ahora porque no olvida la riqueza de un pasado vivo, una memoria insepulta. Su horizonte también es hoy, porque no disminuye la fuerza de su vivo deseo”.

Nuevo tiempo mexicano, Carlos Fuentes (1928-2012).

“Vi pasar las carretas. Los bueyes moviéndose despacio. El crujir de las piedras bajo las ruedas. Los hombres como si vinieran dormidos.

—... Todas las madrugadas el pueblo tiembla con el paso de las carretas. Llegan de todas partes, copeteadas de salitre, de mazorca, de yerba de pará. Rechinan sus ruedas haciendo vibrar las ventanas, despertando a la gente. Es la misma hora en que se abren los hornos y huele a pan recién horneado. Y de pronto puede tronar el cielo. Caer la lluvia. Puede venir la primavera. Allá te acostumbrarás a los “derrepentes”, mi hijo.— *Carretas vacías, remoliendo el silencio de las calles. Perdiéndose en el oscuro camino de la noche. Y las sombras. El eco de las sombras”.*

Pedro Páramo, Juan Rulfo (1917-1986).

Prefacio

Este libro recoge las ponencias del Simposio General “Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México”, organizado por el *Campus* Puebla del Colegio de Postgraduados, la Academia Mexicana de Ciencias, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla y la Fundación Produce Puebla, los días 26, 27, y 28 del mes de noviembre de 2014. Quiero destacar, primero, que no es una memoria más de una reunión científica, memorias en las cuales, a menudo se publican indiscriminadamente todas las contribuciones recibidas, muchas veces sin ningún examen previo ni posterior. Un análisis somero del índice nos informa de la seriedad de esta experiencia. Los temas se agrupan en cuatro grandes apartados: I El Sistema Agroalimentario de México; II Sistemas Agroalimentarios Sustentables de Origen Vegetal; III Sistemas Agroalimentarios Sustentables de Origen Animal; y IV Sistemas Agroalimentarios Sustentables de Origen Microbiano. Primero una gran parábola, luego tres secciones que cubren exhaustivamente su trayectoria. Obviamente hubo un diseño inteligente para este simposio.

En 38 capítulos, cerca de 100 expertos en la producción de alimentos y en temas relativos a su relación con la sociedad exponen conocimientos, experiencias y estrategias para alcanzar nuestra suficiencia alimentaria. Otros, los menos, escriben sobre políticas públicas para el sector agroalimentario. Su lectura reafirma mi convicción sobre dos tesis que he expuesto por mucho tiempo en diversos foros: 1) Nuestra competencia tecnológica para la producción de alimentos es amplia, aunque nunca será suficiente; ni en México ni, por cierto, en ningún otro lugar; 2) Esa competencia tecnológica incide muy poco en la productividad del campo mexicano. Tenemos tecnología y técnicos competentes. Y entonces ¿qué?

Trataré de abreviar en unos pocos párrafos una historia de más de setenta años, (para una reseña más extensa consultar el vínculo <http://www.colpos.mx/agrocien/Extras/ens-inv-ext.pdf>). La investigación en ciencias agrícolas se inició en México en los años cuarenta del siglo XX. No creo cometer una injusticia histórica al situar a Edmundo Taboada como el primer investigador en ciencias agrícolas de nuestro país. La fundación de la Oficina de Estudios Especiales (OEE), del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), del Colegio de Postgraduados (CP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se ha documentado ampliamente en la serie Las Ciencias Agrícolas Mexicanas y sus Protagonistas, en seis volúmenes de la Biblioteca Básica de Agricultura (BBA), publicada por el CP. Una

asignatura pendiente es analizar cronológicamente la interacción (o ausencia de) entre estas instancias: de la OEE al INIA y al CIMMYT; del INIA al INIFAP; la conversión (infausta) de la Escuela Nacional de Agricultura en Universidad Autónoma Chapingo (UACH), y la previa fundación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN); la creación del CP y su separación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Un análisis serio y documentado de este entramado histórico seguramente arrojaría luces sobre las causas de un fracaso monumental. Lo sugerí antes y lo repito: la escasa incidencia de nuestras instituciones de enseñanza e investigación en la productividad del campo mexicano. Trataré de sustanciar este aserto.

Los directivos de instituciones oficiales —del sector agropecuario y de todos— invariablemente culpan de sus deficiencias a presupuestos exiguos. Aunque sólo he examinado numéricamente datos del sector agropecuario, puedo asegurar que el argumento es falaz en general. Los recursos recibidos difícilmente se compadecen con los resultados. En el caso de nuestro sector es evidente la falta de coordinación: investigaciones que se repiten, exceso de planteles educativos, patrocinio de estudiantes que acuden a la UACH, a la UAAAN, y al CP por razones alimenticias (gastronómicas antes que agronómicas). Sé que estoy escribiendo algo herético, sobre todo para quienes manejan los recursos monetarios y a veces se benefician personalmente de ellos, pero, para el caso del sector agropecuario, ofrezco un análisis somero.

Sólo entre la UACH, el CP, el INIFAP, y la UAAAN, se ejerce un presupuesto anual de alrededor de cinco mil millones de pesos. No es aventurado suponer que esta cifra pueda duplicarse, y hasta triplicarse, si sumamos el gasto en educación e investigación agrícola de las universidades estatales, de otros organismos de SAGARPA y descentralizados, y aun de organismos privados.

¿Cuántos resultados productivos debería arrojar la inversión de 1,000 millones de dólares anuales? Sin duda muchos más que los actuales.

Ejercer con eficacia tal (o cualquier) cantidad de recursos en un sistema tan complejo y diverso como el que nos ocupa, requiere la coordinación de una instancia superior, la que sólo puede hacerlo bien si tiene facultades para asignar prioridades y distribuir el financiamiento de acuerdo con criterios tanto científicos como de utilidad social.

UNA PROPUESTA

El primer intento de regular la enseñanza y la investigación agrícola en México fue la Ley de Educación Agrícola (1946). Como consecuencia un tanto retrasada de esa ley se crea el Colegio de Postgraduados en 1959, con el cual se inicia la enseñanza de postgrado en ciencias agrícolas. No incurriré en la ingenuidad de creer que una ley puede, por sí sola, remediar los males anteriormente reseñados. Sí tengo el deber ético de insistir en que la carencia de un marco legal ha propiciado el desastre. A mi juicio, la forma privilegiada para inducir el orden en la enseñanza, investigación y extensión agrícolas, es la creación de un instrumento legal que norme estas

actividades. Una Ley de Enseñanza, Investigación y Extensión Agrícolas, que sustituya y actualice la de 1946, debería considerar los siguientes aspectos:

- 1) Regulación de la cantidad y calidad de los egresados del sistema de educación agrícola superior. En virtud de la proliferación de programas de postgrado, la ley debería considerar este aspecto con mayor especificidad que la de 1946, toda vez que también empieza a darse una duplicación, y quizá triplicación y n-plicación delirante de esfuerzos en este nivel, además de la creación de programas sin control, la mayoría de muy dudosa calidad.
- 2) Certificación de los egresados para el ejercicio de la profesión.
- 3) Mecanismos para asignación de recursos que se estimen pertinentes a los planteles.
- 4) Asignación racional de recursos para la investigación.
- 5) Definición de áreas de pertinencia en la investigación y mecanismos de vinculación.
- 6) Utilización integral de los recursos humanos y financieros del sistema.

Sobre todos los puntos anteriores pueden darse ejemplos significativos. Basten en esta ocasión los indicadores anteriormente expuestos.

El instrumento para operar los objetivos de la ley podría ser lo que aquí llamaré el “Consejo Nacional de Educación, Investigación y Extensión Agrícola”, integrado por el INIFAP, la Universidad Autónoma Chapingo, el Colegio de Postgraduados, y otras instituciones que se juzgue conveniente incluir. Un candidato obvio sería el Colegio de Ingenieros Agrónomos de México, y otro la Confederación Nacional Agronómica.

Pero he sido convocado a escribir un prólogo y no una proclama. Ofrezco una disculpa al Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera, organizador del simposio, por cualquier exceso retórico. También espero haber aportado información útil sobre los temas que se abordan en esta obra.

Said Infante Gil
*Profesor Investigador Titular
del Colegio de Postgraduados*

Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México

Comité Científico Editorial

Simposio I: Sistemas agroalimentarios sustentables de origen vegetal.

Filemón Parra Inzunza (coordinador)

José Luis Jaramillo Villanueva

Ignacio Ocampo Fletes

Simposio II: Sistemas agroalimentarios sustentables de origen animal.

Samuel Vargas López (coordinador interno)

Alfredo Cesín Vargas (coordinador externo)

José Sergio Escobedo Garrido

Francisco Calderón Sánchez

J. Reyes Galaviz Rodríguez

Ignacio Vázquez Martínez

Simposio III: Sistemas agroalimentarios sustentables de origen microbiano.

Daniel Martínez-Carrera (coordinador interno)

Yésica Mayett Moreno (coordinadora externa)

Mercedes Sobal Cruz

Porfirio Morales Almora

General: Luis A. Villarreal Manzo, Benito Ramírez Valverde,

Antonio Macías López, Engelberto Sandoval Castro

Contenido

I. El sistema agroalimentario de México

A. Sociedad y alimentación

Capítulo 1

- 3 La agricultura mexicana y su potencial en la alimentación: el contexto actual
Leobardo Jiménez-Sánchez, Aurelio León-Merino y Martín Hernández-Juárez

Capítulo 2

- 27 Los desafíos del futuro: alimentos, crisis ecológica y pequeña producción campesina
Víctor M. Toledo

Capítulo 3

- 37 De la revolución verde a las revoluciones minúsculas
Jean Christian Tulet

B. Alimentos y recursos base

Capítulo 4

- 63 Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola
Jorge D. Etchevers, Vinisa Saynes y Mariana Margarita Sánchez

Capítulo 5

- 81 El manejo sustentable del agua en el sistema agroalimentario de México
Enrique Palacios Vélez

Capítulo 6

- 101 La importancia de la pesca y la acuicultura en el sistema agroalimentario de México
Francisco Javier Martínez Cordero y Edgar Sánchez Zazueta

C. Alimentos y salud

Capítulo 7

- 123 Importancia de la sanidad vegetal en el sistema agroalimentario
Francisco Javier Trujillo Arriaga, Clemente de Jesús García Avila, Andrés Quezada Salinas y Hugo César Arredondo Bernal

Capítulo 8

- 147 Producción porcina: salud humana, ambiente, inocuidad y bienestar animal
Rosario H. Pérez Espejo

Capítulo 9

- 169 Biotecnología y bioseguridad: un conjunto de herramientas esenciales para el desarrollo de los sistemas agroalimentarios
Pedro Rocha Salavarieta y Víctor Villalobos Arámbula

D. Alimentos, sociedad y cultura

Capítulo 10

- 187 Respondiendo al debate: la polémica sobre el origen de la crisis alimentaria
Blanca Rubio

Capítulo 11

- 201 Cultura alimentaria mexicana como eje de las políticas públicas
Héctor Bourges Rodríguez

Capítulo 12

- 221 Situación de la agricultura en América Latina y el Caribe
Diana Ramírez

Capítulo 13

- 235 Los agroparques como modelo de innovación que potenciará la agricultura mexicana
Alfonso Larqué-Saavedra

Capítulo 14

- 249 La seguridad agroalimentaria en México
Manuel R. Villa-Issa y Carlos Aragón-Gutiérrez

Capítulo 15

- 281 México: expectativas de su seguridad alimentaria en la fase de economía abierta
Felipe Torres Torres

II. Sistemas agroalimentarios sustentables de origen vegetal

Capítulo 16

- 313 La agricultura familiar y su contribución a la seguridad alimentaria: límites y posibilidades
Javier Ramírez Juárez

Capítulo 17

- 333 Extensionismo para la innovación basado en evidencias
Inicio Horacio Santoyo-Cortés, Manrubio Muñoz-Rodríguez, Jorge Aguilar-Ávila y Enrique Genaro Martínez-González

Capítulo 18

- 361 Innovación tecnológica y posibilidades de aumentar la productividad y producción global de 16 cultivos básicos de México
Antonio Turrent Fernández, José Isabel Cortés Flores y Alejandro Espinosa Calderón

Capítulo 19

- 377 Agregación de valor a los productos alimenticios de la agricultura familiar
José Luis Jaramillo Villanueva

Capítulo 20

- 393 Agricultura familiar y patrones de consumo alimentario en las familias indígenas de Matatlán, Oaxaca, México
Juan Antonio-Bautista, Javier Ramírez Juárez y Antonio José-Juan

III. Sistemas agroalimentarios sustentables de origen animal

Capítulo 21

- 415 Aspectos de globalización y la relación inocuidad-ambiente en la cadena productiva de alimentos de origen animal

José Nahed Toral y Francisco Guevara Hernández

Capítulo 22

- 427 Inocuidad de los productos alimenticios de origen animal

Ricardo E. Caicedo Rivas, Mariana Paz-Calderón Nieto y Adriana Ramírez Vargas

Capítulo 23

- 449 El sistema de traspasamiento y la producción de alimentos de origen animal

Samuel Vargas López, Ángel Bustamante González, Miguel Ángel Casiano Ventura, Francisco Calderón Sánchez e Ignacio Vázquez Martínez

Capítulo 24

- 463 Bacterias patógenas que contaminan los alimentos agropecuarios y causan zoonosis

Jesús Vázquez Navarrete y Ricardo Flores Castro

Capítulo 25

- 477 Pobreza alimentaria y bienestar animal, los retos para la avicultura mexicana

María del Carmen Hernández Moreno, Antonio Alberto Ulloa Méndez y Araceli del Carmen Andablo Reyes

Capítulo 26

- 501 Cambio tecnológico y productividad en el sistema de lácteos en México: entre el consumo de masas y el consumo selectivo

Adolfo Gpe. Álvarez Macías y Adriana Yamile Moreno Blanco

Capítulo 27

- 519 Productos locales de origen animal

Alfredo Cesín y Adriana Bastidas

Capítulo 28

- 539 “Comer de mano propia”: cultura alimentaria de la sociedad ranchera serrana en el occidente de México

Esteban Barragán López y Rogelia Torres Villa

Capítulo 29

- 563 Aportes de los sistemas agroalimentarios sustentables de origen animal a la seguridad alimentaria

Beatriz Cavallotti Vázquez

IV. Sistemas agroalimentarios sustentables de origen microbiano

Capítulo 30

- 581 Contribución de los hongos comestibles, funcionales y medicinales a la construcción de un paradigma sobre la producción, la dieta, la salud y la cultura en el sistema agroalimentario de México

Daniel Martínez-Carrera, Alfonso Larqué-Saavedra, Armando Tovar Palacio, Nimbe Torres, María Eugenia Meneses, Mercedes Sobal Cruz, Porfirio Morales Almora, Myrna Bonilla Quintero, Helios Escudero Uribe, Isaac Tello-Salgado, Teodoro Bernabé-González, Wilfrido Martínez Sánchez y Yésica Mayett

Capítulo 31

- 641 El cuítlacoche, producto de la interacción *Ustilago maydis* - maíz, una aportación de México al mundo en el sistema agroalimentario microbiano

Vladimir Castañeda de León, Daniel Martínez-Carrera, Porfirio Morales Almora, Mercedes Sobal Cruz, Abel Gil Muñoz y Hermilo Leal Lara

Capítulo 32

- 695 La investigación en micología básica y aplicada: aportes para un desarrollo sustentable

Gerardo Mata, Rigoberto Gaitán Hernández y Dulce Salmones

Capítulo 33

- 721 Aportaciones de ECOSUR al conocimiento de macromicetos y al desarrollo de tecnología para su cultivo y aprovechamiento

José E. Sánchez, René Andrade Gallegos, Lilia Moreno Ruiz y Reyna Camacho Morales

Capítulo 34

- 737 Aportaciones de investigaciones básicas y aplicadas para impulsar la producción de hongos comestibles en México

Hermilo Leal Lara, José Adaya González, Lidia Curiel Pérez, Cecilia Marroquín Corona, Cristina Morales Olivares, Abraham Sánchez Hernández, Erika Sánchez Marín, Selene Segura Moctezuma, Vladimir Castañeda de León y Gustavo Valencia Del Toro

Capítulo 35

- 761 Biotecnología, innovación y desarrollo en la cadena de valor con base en los recursos genéticos de los hongos comestibles, funcionales y medicinales

Mercedes Sobal Cruz, Porfirio Morales Almora, Myrna Bonilla Quintero, Wilfrido Martínez Sánchez y Daniel Martínez-Carrera

Capítulo 36

- 781 Estrategias para promover el consumo de hongos comestibles en México, con base en sus propiedades funcionales y medicinales

Yésica Mayett y Daniel Martínez-Carrera

Capítulo 37

- 811 Propiedades funcionales novedosas de *Ganoderma lucidum*: actividad neuroprotectora y anticonvulsiva

Isaac Tello-Salgado, Elizur Montiel-Arcos, Ismael Leon-Rivera y Daniel Martínez-Carrera

Capítulo 38

- 827 Genómica de las propiedades anticancerígenas de los hongos comestibles, funcionales y medicinales: investigaciones INMEGEN-CP

Mónica Peña-Luna, Alfredo Hidalgo-Miranda, Sandra Romero-Córdoba, Mercedes Sobal Cruz, Porfirio Morales Almora, Gerardo Jiménez-Sánchez y Daniel Martínez-Carrera

- 853 **Índice temático**

- 855 *Subject index*

IV

Sistemas
agroalimentarios
sustentables de
origen microbiano

Biotecnología, innovación y desarrollo en la cadena de valor con base en los recursos genéticos de los hongos comestibles, funcionales y medicinales

Mercedes Sobal Cruz, Porfirio Morales Almora, Myrna Bonilla Quintero, Wilfrido Martínez Sánchez y Daniel Martínez-Carrera

Colegio de Postgraduados (CP), Campus Puebla, Biotecnología de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales, Apartado Postal 129, Puebla 72001, Puebla, México.
Correos electrónicos: msobal@colpos.mx; pmorales@colpos.mx; dcarrera@colpos.mx

Resumen

Se presenta el registro actual de los recursos genéticos fúngicos y colecciones especiales (790) que se mantienen y estudian en la Unidad de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM) del Colegio de Postgraduados (CP), Campus Puebla. Los hongos comestibles pertenecen a 46 géneros: *Agaricus* (151), *Agrocybe* (5), *Amauroderma* (4), *Armillaria* (1), *Auricularia* (3), *Boletopsis* (1), *Calvatia* (7), *Clitocybe* (2), *Chlorophyllum* (1), *Coprinopsis* (1), *Coprinus* (3), *Cortinarius* (1), *Eutypella* (1), *Favolus* (1), *Fistulina* (7), *Flammulina* (6), *Fomes* (7), *Fomitopsis* (1), *Ganoderma* (95), *Grifola* (3), *Gymnopus* (1), *Hericium* (1), *Hygrophoropsis* (1), *Hypsizygyus* (5), *Laetiporus* (1), *Lentinula* (49), *Lepista* (2), *Leucoagaricus* (1), *Lyophyllum* (1), *Morchella* (5), *Neolentinus* (3), *Omphalatus* (2), *Panus* (1), *Phallus* (1), *Pleurotus* (248), *Polyporus* (2), *Psilocybe* (4), *Pycnoporus* (24), *Schizophyllum* (8), *Sparassis* (1), *Spongipellis* (1), *Stropharia* (2), *Trametes* (7), *Ustilago* (119), *Volvariella* (6), y *Xylaria* (1). Se han cultivado diversas especies de hongos correspondientes a 12 géneros en substratos estériles o pasteurizados para confirmación de la identificación, su caracterización morfológica y rendimiento expresado como eficiencia biológica (%). Se presentan los árboles filogenéticos de diversos hongos comestibles (*Pleurotus*, *Volvariella*), así como del “moho verde” (*Trichoderma*). Se describen líneas de investigación que se desarrollan en el CREGEN-HCFM, tales como las propiedades funcionales y medicinales de los hongos, la identificación de las especies a nivel molecular y la selección de cepas cultivadas en presencia del ácido acetilsalicílico (AAS). El CREGEN-HCFM continúa apoyando diversas actividades de vinculación con productores locales a nivel nacional. Se describe el alcance que tiene el modelo de la Unidad de Productos Biotecnológicos asociada al Sistema de Producción-Consumo de

los Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CEVIN-HCFM) del CP, incluyendo los servicios integrales que aporta al sector, tales como la generación de recursos propios por la venta de “semilla”, de unidades de producción y la impartición de cursos de capacitación sobre el cultivo de hongos.

Palabras clave: hongos comestibles, hongos funcionales, hongos medicinales, México, recursos genéticos, vinculación.

Abstract

Biotechnology, innovation, and development of the value chain based on genetic resources from medicinal, functional, and edible mushrooms.

The current catalogue of fungal genetic resources and special collections (790) maintained and studied at the Unit of Genetic Resources from Medicinal, Functional and Edible Mushrooms (CREGEN-HCFM), Colegio de Postgraduados (CP), *Campus* Puebla. Edible mushrooms belong to 46 genera: *Agaricus* (151), *Agrocybe* (5), *Amauroderma* (4), *Armillaria* (1), *Auricularia* (3), *Boletopsis* (1), *Calvatia* (7), *Clitocybe* (2), *Chlorophyllum* (1), *Coprinopsis* (1), *Coprinus* (3), *Cortinarius* (1), *Eutypella* (1), *Favolus* (1), *Fistulina* (7), *Flammulina* (6), *Fomes* (7), *Fomitopsis* (1), *Ganoderma* (95), *Grifola* (3), *Gymnopus* (1), *Hericius* (1), *Hygrophoropsis* (1), *Hypsizygus* (5), *Laetiporus* (1), *Lentinula* (49), *Lepista* (2), *Leucoagaricus* (1), *Lyophyllum* (1), *Morchella* (5), *Neolentinus* (3), *Omphalotus* (2), *Panus* (1), *Phallus* (1), *Pleurotus* (248), *Polyporus* (2), *Psilocybe* (4), *Pycnoporus* (24), *Schizophyllum* (8), *Sparassis* (1), *Spongipellis* (1), *Stropharia* (2), *Trametes* (7), *Ustilago* (119), *Volvariella* (6), y *Xylaria* (1). Several fungal species from 12 genera have been cultivated on sterile or pasteurized substrates in order to confirm identification, morphological characterization, and mushroom yield expressed as biological efficiency (%). Phylogenetic trees of several edible mushrooms (*Pleurotus*, *Volvariella*), as well as that from the “green mold” (*Trichoderma*), are discussed. CREGEN-HCFM research lines involving functional and medicinal properties of edible mushrooms, species identification at the molecular level, and mushroom cultivation in the presence of AAS (acetylsalicylic acid) are being carried out. CREGEN-HCFM provides support to mushroom growers in the country and supports several linkage activities with producers either locally or nationwide. A model is described about the Unit of Mushroom Biotechnological Products associated to the Production-Consumption System of Medicinal, Functional and Edible Mushrooms (CEVIN-HCFM), which provides integral services to the value chain, such as spawn supply, production units, and training courses.

Key words: edible mushrooms, extension, functional mushrooms, genetic resources, medicinal mushrooms, Mexico.

I. Introducción

Actualmente, se han generado avances tecnológicos de gran impacto, aunque en lo ecológico se observan cambio climático y escasez de agua. Los alimentos son insuficientes, se presentan problemas de salud individual y pública (cáncer, diabetes, colesterol, hipertensión), así como un considerable aumento en la población mundial. La biotecnología se presenta como una alternativa viable y confiable para el ser humano, en el campo de la salud pública, se han desarrollado vacunas para la prevención de enfermedades, con resultados de diagnósticos *in vitro*, y se empieza a aplicar terapia genética. Consumir alimentos sanos e inocuos con calidad nutricional, medicinal y funcional producidos a través de la biotecnología vegetal, animal y microbiana, en cortos periodos de tiempo es el principal reto. En este contexto, los centros de recursos biológicos han adquirido gran relevancia económica, ecológica y social en virtud de su importancia no tan sólo para proveer servicios a la comunidad académica, sino también para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo de la industria biotecnológica (Hawksworth, 2004; OCDE, 1997). La biotecnología del cultivo de hongos comestibles abarca esos aspectos y ha adquirido en México importancia a nivel local, regional y nacional (Martínez-Carrera *et al.*, 2010). Debido a sus características únicas, los hongos se utilizan en procesos de biorremediación, en la producción de enzimas lignocelulósicas, metabolitos secundarios, entre otros.

En el presente existen las bases teóricas, metodológicas y de información para el establecimiento y desarrollo de programas de investigación con biotecnología moderna aplicada a los hongos comestibles en México (Sobal *et al.*, 2007). En este sentido, el Colegio de Postgraduados (CP), Campus Puebla, ha consolidado la Unidad de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM) formalizada en 2004 (Sobal *et al.*, 2007), cuyos objetivos centrales son: 1) Mantener y conservar el germoplasma nativo procedente de diversas regiones del país; 2) Caracterizar el germoplasma nativo a nivel molecular, principalmente los correspondientes al champiñón (*Agaricus*), las “setas” (*Pleurotus*), el “reishi” (*Ganoderma*) y el género *Lentinula*, generando sus bases de datos asociadas; 3) Establecer un programa de mejoramiento genético que combine herramientas de genética clásica y molecular para desarrollar una nueva generación de cepas comerciales de hongos comestibles en México; y 4) Aprovechar los recursos genéticos en base a sus propiedades funcionales y valor medicinal. Por su parte, la Unidad de Productos Biotecnológicos asociada al Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CEVIN-HCFM) tiene como objetivo principal relacionar la investigación de la biotecnología del cultivo de hongos comestibles con el sector productivo (Morales *et al.*, 2007). El CEVIN-HCFM continúa generando ingresos propios por la venta de “semilla” mejorada y servicios a productores de hongos comestibles. Esta vinculación es apoyada por el CREGEN-HCFM, y ambas unidades se han visto favorecidas por el financiamiento nacional e internacional a sus investigaciones. Su área de influencia se ilustra en la Figura 1. Falta todavía recolectar y promover el cultivo de hongos en ocho Estados



Figura 1. Impacto nacional la Unidad de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM) y de la Unidad de Productos Biotecnológicos asociada al Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CEVIN-HCFM) del Colegio de Postgraduados (CP), *Campus* Puebla. Estados de la República Mexicana donde se han recuperado recursos genéticos nativos de los hongos comestibles, funcionales y medicinales, los cuales están depositados en el CREGEN-HCFM. Asimismo, se incluyen aquellos Estados donde se han apoyado productores con servicios integrales del CEVIN-HCFM.

de la República Mexicana, a saber: Aguascalientes, Baja California Sur, Campeche, Coahuila, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, y Zacatecas.

II. La Unidad de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM)

El CREGEN-HCFM cuenta con 790 registros de cepas nativas, extranjeras y de intercambio denominadas “comerciales” de hongos comestibles, incluyendo especies pertenecientes principalmente a los géneros *Agaricus*, *Agrocybe*, *Amauroderma*, *Auricularia*, *Calvatia*, *Fistulina*, *Ganoderma*, *Lentinula*, *Pleurotus*, *Pycnoporus*, *Ustilago* y *Volvariella*. Las cepas nativas proceden de diversas regiones del país, las cuales incluyen 19 Estados de la República Mexicana, lo que representa un área de trabajo de preservación de recursos genéticos del 60 % del territorio nacional (Figura 1). La nomenclatura de las especies estuvo basada inicialmente en la morfología macro y microscópica de los esporocarpos al momento de la recolección. Sin embargo, actualmente la mayoría de las especies están identificadas a nivel molecular (Tablas 1-2), lo que permitirá realizar investigaciones con recursos genéticos cuya confirmación de la especie es un requisito para las aplicaciones derivadas de la biotecnología moderna. La especie *G. lucidum* cuenta con 40 cepas, *Pleurotus agaves* con 24 cepas, y *Ustilago maydis* con 57 cepas. La mayoría de los recursos genéticos en proceso de identificación pertenecen a los géneros *Agaricus*, *Ganoderma* y *Pleurotus*. En esa sección se tienen 12 cepas de *Agaricus*, 1 de *Cymatoderma*, 25 de *Ganoderma*, 3 de *Morchella*, 1 de *Neolentinus*, y 26 cepas de *Pleurotus*.

En el período de 2007-2015, el incremento de los recursos genéticos de hongos comestibles en la colección se notó mayoritariamente en los géneros *Ustilago* (25 %), *Pleurotus* (24 %), *Agaricus* (20 %) y *Ganoderma* (19 %). Otros géneros incluyen *Lentinula* (6 %) y *Volvariella* (1 %) [Figura 2]. Se identificó *V. bombycina* procedente de los Estados de Puebla y Morelos. En la Figura 3 se muestra el árbol filogenético del hongo comestible *V. bombycina*, utilizando a *V.*

Tabla 1. Recursos genéticos de hongos comestibles, funcionales y medicinales identificados a nivel molecular que se mantienen en la Unidad de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM) del Colegio de Postgraduados (CP), *Campus Puebla*.

Especie
<i>Agaricus bisporus</i> var. <i>bisporus</i> (J.E. Lange) Imbach
<i>A. bitorquis</i> (Quél.) Sacc.
<i>A. blazei</i> Murrill
<i>A. californicus</i> Peck
<i>A. campestris</i> L.
<i>A. deserticola</i> G. Moreno, Esqueda & Lizárraga
<i>A. placomyces</i> Peck
<i>A. tollocanensis</i> Callac & G. Mata
<i>Amauroderma</i> aff. <i>coffeatum</i>
<i>A. rugosum</i> (Blume & T. Nees) Torrend
<i>Fistulina guzmanii</i> Brusic
<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr.
<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.
<i>Lentinula boryana</i> (Berk. & Mont.) Pegler
<i>L. edodes</i> (Berk.) Pegler
<i>Leucoagaricus leucothites</i> (Vittad.) Wasser
<i>Morchella esculenta</i> (L.) Pers.
<i>M. septimelata</i> M. Kuo
<i>Neolentinus lepideus</i> (Fr.) Redhead & Ginns
<i>Pleurotus agaves</i> Dennis
<i>P. albidus</i> (Berk.) Pegler
<i>P. cystidiosus</i> O.K. Mill.
<i>P. djamor</i> (Rumph. ex Fr.) Boedijn
<i>P. dryinus</i> (Pers.) P. Kumm.
<i>P. eryngii</i> (DC.) Quél.
<i>P. levis</i> (Berk. & M.A. Curtis) Singer
<i>P. ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm.
<i>P. ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm. f. sp. florida
<i>P. pulmonarius</i> (Fr.) Quél.
<i>Pycnoporus sanguineus</i> (L.) Murrill
<i>Trametes máxima</i> (Mont.) A. David & Rajchenb.
<i>T. versicolor</i> (L.) Lloyd
<i>T. villosa</i> (Sw.) Kreisel
<i>Ustilago maydis</i> (DC.) Corda
<i>Volvariella bombycina</i> (Schaeff.) Singer
<i>Xylaria berteroi</i> (Mont.) Cooke ex J.D. Rogers & Y.M. Ju

Tabla 2. Relación de las especies de hongos identificadas a nivel molecular y sus claves de acceso en la base de datos de la Unidad de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM).

Especie	Clave de acceso
<i>Agaricus bisporus</i> var. <i>bisporus</i>	CP-99
<i>A. bitorquis</i>	CP-43, CP-55, CP-57, CP-58
<i>A. blazei</i>	CP-567
<i>A. californicus</i>	CP-705
<i>A. campestris</i>	CP-275
<i>A. deserticola</i>	CP-54, CP-74, CP-83, CP-84, CP-89, CP-128, CP-130
<i>A. placomyces</i>	CP-711
<i>A. spp.</i>	CP-147, CP-500
<i>A. tollocanensis</i>	CP-237
<i>Amauroderma</i> aff. <i>coffeatum</i>	CP-702
<i>A. rugosum</i>	CP-704
<i>Eutypella</i> sp.	CP-481
<i>Fistulina guzmanii</i>	CP-420
<i>Fomes fomentarius</i>	CP-788
<i>Ganoderma lucidum</i>	CP-145, CP-205, CP-367, CP-377, CP-381, CP-382, CP-383, CP-384, CP-385, CP-386, CP-387, CP-389, CP-391, CP-392, CP-394, CP-395, CP-396, CP-397, CP-399, CP-400, CP-401, CP-403, CP-404, CP-405, CP-406, CP-407, CP-408, CP-409, CP-435, CP-444, CP-445, CP-448, CP-450, CP-451, CP-455, CP-469, CP-470, CP-471, CP-476, CP-512
<i>G. spp.</i>	CP-38, CP-388, CP-434, CP-446, CP-447, CP-449, CP-452, CP-453, CP-454, CP-472, CP-473, CP-474, CP-475, CP-513, CP-514, CP-703, CP-720
<i>Lentinula boryana</i>	CP-5, CP-414, CP-417, CP-466, CP-467, CP-491, CP-494
<i>L. edodes</i>	CP-7, CP-8, CP-9, CP-13, CP-163, CP-174, CP-189, CP-351
<i>Leucoagaricus leucothites</i>	CP-710
<i>Morchella esculenta</i>	CP-509
<i>M. septimelata</i>	CP-499
<i>M. spp.</i>	CP-507, CP-508
<i>Neolentinus lepideus</i>	CP-286
<i>P. agaves</i>	CP-98, CP-194, CP-358, CP-359, CP-360, CP-361, CP-362, CP-363, CP-364, CP-365, CP-373, CP-375, CP-376, CP-425, CP-426, CP-460, CP-515, CP-516, CP-517, CP-518, CP-524, CP-525, CP-715, CP-719
<i>P. albidus</i>	CP-666
<i>P. cystidiosus</i>	CP-18
<i>P. djamor</i>	CP-34, CP-44, CP-92, CP-94, CP-120, CP-171, CP-253, CP-257, CP-261, CP-262, CP-263, CP-265, CP-266, CP-366, CP-424, CP-468, CP-718, CP-728

Tabla 2. Continuación.

Especie	Clave de acceso
<i>P. dryinus</i>	CP-273
<i>P. eryngii</i>	CP-346
<i>P. levis</i>	CP-30
<i>P. ostreatus</i>	CP-11, CP-21, CP-23, CP-26, CP-32, CP-36, CP-37, CP-41, CP-50, CP-90, CP-168, CP-186, CP-193, CP-196, CP-197, CP-198, CP-201, CP-202, CP-203, CP-204, CP-240, CP-241, CP-268, CP-272, CP-281, CP-291, CP-292, CP-293, CP-300, CP-327, CP-734
<i>P. pulmonarius</i>	CP-16, CP-47, CP-267, CP-269, CP-322, CP-328, CP-372, CP-714
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	CP-721, CP-722, CP-727
<i>Trametes máxima</i>	CP-717
<i>T. versicolor</i>	CP-431, CP-730
<i>T. villosa</i>	CP-729
<i>Ustilago maydis</i>	CP-436, CP-438, CP-439, CP-440, CP-441, CP-442, CP-443, CP-482, CP-483, CP-484, CP-485, CP-486, CP-487, CP-488, CP-489, CP-490, CP-533, CP-534, CP-535, CP-536, CP-537, CP-538, CP-539, CP-540, CP-541, CP-542, CP-543, CP-544, CP-545, CP-547, CP-548, CP-549, CP-550, CP-551, CP-552, CP-553, CP-587, CP-592, CP-596, CP-602, CP-609, CP-613, CP-614, CP-615, CP-616, CP-617, CP-622, CP-625, CP-626, CP-628, CP-631, CP-632, CP-650, CP-651, CP-652, CP-660, CP-661
<i>Volvariella bombycina</i>	CP-229, CP-665, CP-675, CP-733
<i>Xylaria berteroi</i>	CP-723

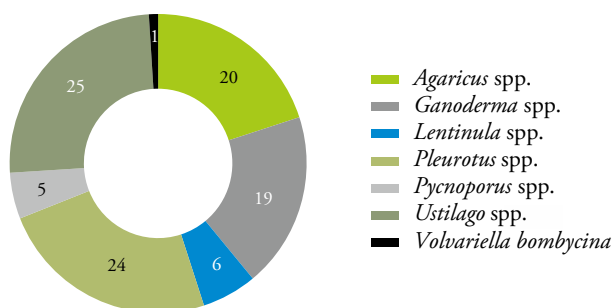


Figura 2. Incremento (%) de los recursos genéticos nativos de los principales géneros de hongos comestibles, funcionales y medicinales durante el período 2007-2015, los cuales se mantienen en la Unidad de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM).

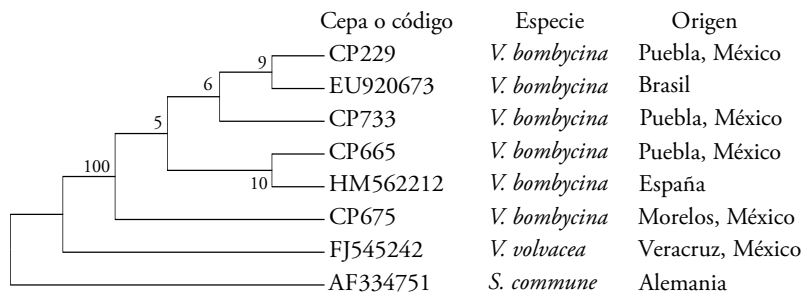


Figura 3. Árbol filogenético que muestra las relaciones entre los recursos genéticos nativos de *Volvariella bombycina*, empleando secuencias de la región ITS del ADNr. El árbol consenso se obtuvo por el método de máxima parsimonia con un *bootstrap* de 1000 réplicas por medio del programa MEGA6 (Tamura *et al.*, 2007). El alineamiento y análisis de las secuencias se realizó con el mismo programa. Los valores del *bootstrap* están marcados en el nodo de cada linaje. *Volvariella volvacea* y *Schizophyllum commune* se usaron como grupo externo. El código de las cepas y las secuencias del ADN corresponden a la base de datos del CREGEN-HCFM, CP, *Campus* Puebla, o al número de acceso en el *European Bioinformatic Institute*, Inglaterra (EBI).

volvacea y *Schizophyllum commune* como grupo externo. Puede apreciarse en este árbol que la especie *V. bombycina* es diferente a *V. volvacea*, la cual se cultiva comercialmente en el Sureste de Asia. Las cepas CP-675 y CP-733 de esta especie se han cultivado recientemente en el laboratorio sobre diferentes sustratos estériles: paja de cebada y bagazo de caña de azúcar. Cada unidad de producción (UP) tuvo 800 g de sustrato en peso húmedo y se inoculó a una tasa del 10 % de “semilla”. El micelio que colonizó la paja de cebada fue abundante y denso, mientras que en el bagazo de caña de azúcar fue escaso y no denso. En la Tabla 3 se muestran los rendimientos (g) y la eficiencia biológica (%) alcanzada por ambas cepas. La mayor eficiencia biológica (EB) se obtuvo con la cepa CP-733 en ambos sustratos, y el mejor sustrato fue el bagazo de caña de azúcar (EB: 64.8 %). Los basidiocarpos de la cepa CP-733 de *V. bombycina* fueron de color amarillo limón, con volva café y estípites largos (Figura 4). Al adicionar ácido acetilsalicílico (AAS) en el sustrato de cultivo (Martínez-Carrera *et al.*, 2015), se observó incremento en el

Tabla 3. Producción y eficiencia biológica (EB) de *Volvariella bombycina* (CP-675, CP-733) cultivada en sustratos estériles.

Cepa	Sustrato	Producción (g)	Eficiencia biológica (%)
CP-675	Paja de cebada	102.3±17.3	46.4±7.9
	Bagazo de caña de azúcar	114.5±13.5	51.0±4.2
CP-733	Paja de cebada	107.1±10.6	55.2±2.9
	Bagazo de caña de azúcar	134.2±14.0	64.8±6.4



Figura 4. Basidiocarpos de *Volvariella bombycina* (CP-733) cultivados en dos diferentes substratos. A=Paja de cebada estéril. B=Bagazo de caña de azúcar.

rendimiento, la cepa CP-733 presentó la mejor EB de 135.6 % en el tratamiento con 10 mM de AAS, con un rendimiento de 439.8 g de basidiocarpos frescos (Tabla 4). Esto representó un aumento de 145 %, en comparación con el rendimiento obtenido en sustrato de paja de cebada estéril sin AAS.

III. Colecciones especiales

Otro componente del CREGEN-HCFM son las colecciones especiales, las cuales se mantienen por su relevancia para el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles, funcionales y medicinales en México. Se conservan cepas micoparásitas del “moho verde” perteneciente al género *Trichoderma*, las cuales muestran notable resistencia a los fungicidas disponibles comercialmente. El “moho verde” se ha catalogado como epidemia, ya que ataca a los cultivos comerciales de champiñones (*Agaricus*) alrededor del mundo, principalmente en Europa, Norteamérica, el suroeste de Asia, y Latinoamérica. Los ataques pueden ser tan severos que se han reportado pérdidas del 30 % al 100 % en plantas productoras, o hasta más de 100 millones de dólares anuales en pérdidas económicas (Castle *et al.*, 1998). Desde el 2004, los autores detectaron la presencia de cepas agresivas del “moho verde” (*T. aggressivum* f. *aggressivum*), identificada con técnicas clásicas y moleculares en muestras de sustrato (compost) contaminado, proporcionado por Hongos de México, S.A., la principal planta en el país. Esta empresa, cuyos volúmenes de

Tabla 4. Producción y eficiencia biológica (EB) de *Volvariella bombycina* (CP-675, CP-733) cultivada sobre paja de cebada estéril en dos concentraciones de ácido acetilsalicílico (AAS).

Cepa	Tratamiento	Producción (g)	EB (%)
CP-675	AAS 10 mM	88.5±5.3	27.1±1.5
	AAS 100 µM	78.9±2.2	25.5±0.6
CP-733	AAS 10 mM	439.8±40.2	135.6±12.2
	AAS 100 µM	107.8±5.8	34.2±0.2

producción ascienden a 55 toneladas de champiñones por día, ha llegado a tener disminuciones hasta del 50 % en su producción y pérdidas económicas millonarias debido al ataque de *T. aggressivum* f. *aggressivum*. Diversas especies de *Trichoderma* también ocasionan serias pérdidas económicas a pequeños productores de hongos comestibles. La mayor parte de los registros corresponden a plantas rústicas productoras de “setas” (*Pleurotus*) de la región central del país (Ortega, 2002). Se han aislado y caracterizado 24 cepas de *Trichoderma* que atacan el sustrato de los cultivos comerciales de hongos comestibles en los Estados de México, Puebla, Tlaxcala, Morelos y Veracruz. Se confirmó la presencia de *T. aggressivum* f. *aggressivum* en nuestro país, lo que representa una seria amenaza para el cultivo de diversas especies de hongos comestibles de los géneros *Agaricus*, *Ganoderma*, *Lentinula*, *Pleurotus* y *Volvariella*. Los sustratos de cultivo de donde se aislaron fueron el compost, la formulación COLPOS-17 elaborada en el laboratorio (Morales *et al.*, 2007), y el sustrato convencional que usan los productores (como la paja). Estas cepas —y otras de referencia— forman parte de una colección especial del CREGEN-HCFM cuyo objetivo es monitorear el avance, la magnitud y el impacto del “moho verde” en el país y proponer medidas para su prevención, manejo y control. Estos contaminantes se aislaron y secuenciaron generando el árbol filogenético que se muestra en la Figura 5. Hasta ahora, se han identificado a nivel molecular seis especies de *Trichoderma* que se desarrollan en México, a saber: *T. aggressivum* f. *aggressivum* Samuels & W. Gams, *T. koningii* Oudem., *T. harzianum* Rifai, *T. atroviride* Bissett, *T. citrinoviride* Bissett, y *T. pleuroti* S.H. Yu & M.S. Park.

IV. Procesos biotecnológicos innovadores con recursos genéticos nativos

Para estudiar las propiedades funcionales y medicinales de los hongos comestibles se han cultivado varias cepas en condiciones estériles (121°C por 90 min), empleando diversos sustratos (aserrín de encino, paja de cebada, bagazo de caña de azúcar). Las unidades de producción (UPs) utilizan 800-1000 g de sustrato con un contenido de humedad del 70-80 %. La tasa de inoculación del sustrato de cultivo varía del 10 % al 15 %, dependiendo de la cepa a estudiar. Una vez obtenidos los esporocarpos frescos, se deshidratan y procesan para la obtención de los extractos acuosos, alcohólicos o hidroalcohólicos, bajo condiciones asépticas y controladas. Las propiedades antibacterianas de estos extractos se estudian con las cepas de *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Bacillus* y *Escherichia* que son relevantes para la salud pública, las cuales están depositadas en el CREGEN-HCFM (Tabla 5). En la actualidad, existe un marcado interés por encontrar nuevos compuestos antimicrobianos para especies de bacterias patógenas que han adquirido resistencia a los antibióticos comunes. En la Figura 6, se muestra el efecto del extracto acuoso de la cepa CP-675 de *Volvariella bombycina* sobre la bacteria Gram negativa *Pseudomonas aeruginosa*. Puede observarse un efecto bactericida del extracto sobre esta bacteria en una concentración de 29.2 mg/pozo a las 24 h. Este resultado confirmó la propiedad antibacteriana (bacteriostática y bactericida) del extracto acuoso de la cepa CP-675, siguiendo los protocolos estándares para

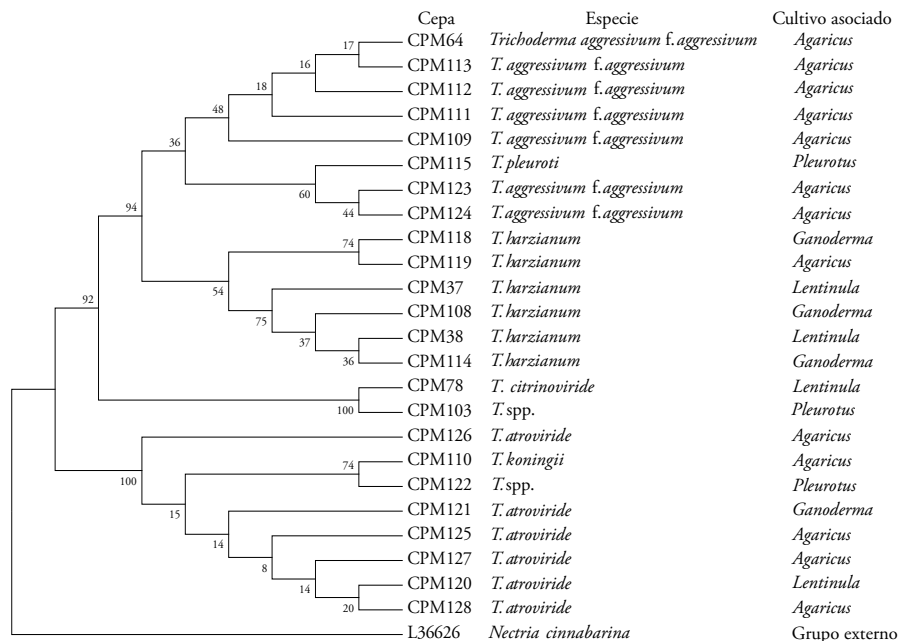


Figura 5. Árbol filogenético que muestra las relaciones entre cepas del “moho verde” (*Trichoderma*), asociadas con ataques a los hongos comestibles cultivados en México, empleando secuencias de la región ITS del ADNr. El árbol consenso se obtuvo por el método de máxima parsimonia con un *bootstrap* de 1000 réplicas por medio del programa MEGA6 (Tamura *et al.*, 2007). El alineamiento y análisis de las secuencias se realizó con el mismo programa. Los valores del *bootstrap* están marcados en el nodo de cada linaje. *Nectria cinnabarina* se usó como grupo externo. El código de las cepas y las secuencias del ADN corresponden a la base de datos del CREGEN-HCFM, CP, Campus Puebla, o al número de acceso en el European Bioinformatic Institute, Inglaterra (EBI).

microplaca (NCCLS, 2000). Los resultados obtenidos por otros autores son generalmente reportados por el halo de inhibición antibacteriana de los extractos (Barros *et al.*, 2008). Esta metodología desarrollada en el laboratorio, en conjunto con las investigaciones a nivel genómico (Martínez-Carrera *et al.*, 2015; Peña-Luna *et al.*, 2015), permitirán estudiar con mayor exactitud las propiedades funcionales y medicinales, agregando valor a los recursos genéticos de hongos comestibles nativos de México.

V. Impacto regional y nacional de la Unidad de Productos Biotecnológicos asociada al Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CEVIN-HCFM)

El CEVIN-HCFM ha brindado servicios integrales a 15 Estados del país (Baja California, Chiapas, Chihuahua, D.F., Durango, México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca,

Tabla 5. Cepas de bacterias empleadas para confirmar las propiedades antimicrobianas de los extractos de hongos comestibles, funcionales y medicinales estudiados en el CP, *Campus Puebla*.

Cepa	Especie	Tinción de Gram	Procedencia
CPB-1	<i>Salmonella typhi</i> (Schroeter 1886) Warren and Scott 1930	—	BUAP
CPB-2	<i>Staphylococcus aureus</i> Rosenbach 1884	+	BUAP (ATCC® 25923™)
CPB-3	<i>Escherichia coli</i> (Migula 1895) Castellani and Chalmers 1919	—	BUAP
CPB-4	<i>Streptococcus agalactiae</i> Lehmann and Neumann 1896	+	BUAP
CPB-5	<i>Bacillus subtilis</i> (Ehrenberg 1835) Cohn 1872	+	BUAP
CPB-6	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Schroeter 1872) Migula 1900	—	BUAP
CPB-7	<i>Stenotrophomonas</i> spp.	—	BUAP
CPB-8	<i>Escherichia coli</i> (Migula 1895) Castellani and Chalmers 1919	—	ATCC® 25922™
CPB-9	<i>Bacillus subtilis</i> (Ehrenberg 1835) Cohn 1872	+	ATCC® 6633™
CPB-10	<i>Staphylococcus aureus</i> Rosenbach 1884	+	ATCC® 25923™
CPB-11	<i>Listeria monocytogenes</i> (Murray <i>et al.</i> 1926) Pirie 1940	+	ATCC® 19115™
CPB-12	<i>Escherichia coli</i> (Migula 1895) Castellani and Chalmers 1919	—	BUAP
CPB-13	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Schroeter 1872) Migula 1900	—	ATCC® 27853™

CPB=Colegio de Postgraduados, sección bacterias. ATCC=*American Type Culture Collection*, E.U.A. BUAP= Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

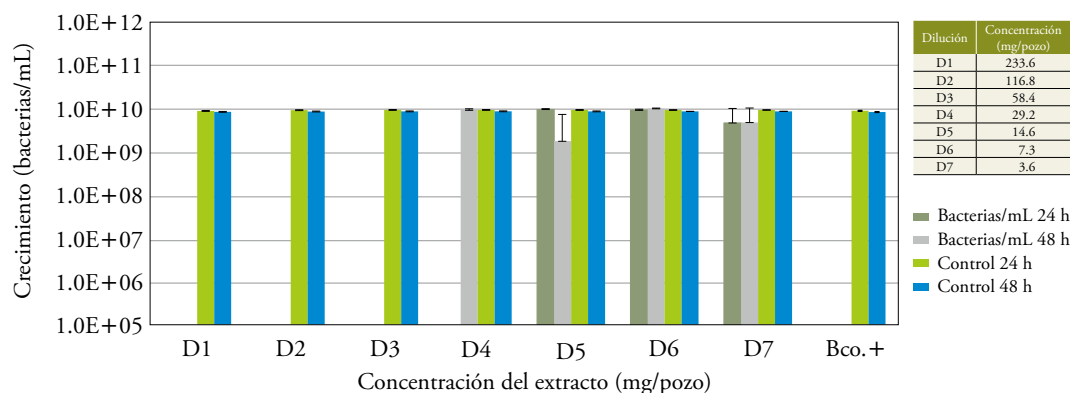


Figura 6. Efecto del extracto acuoso de *Volvariella bombycina* (CP-675) sobre la bacteria Gram negativa *Pseudomonas aeruginosa* (CPB-13), a las 24 h de incubación. A la derecha, se presenta un cuadro con la concentración del extracto estudiada en cada microdilución. Puede observarse la inhibición del crecimiento bacteriano hasta la dilución 4 con 29.2 mg/pozo de extracto.

Puebla, Quintana Roo, Tlaxcala, Veracruz), los cuales incluyen a 153 municipios. En la Tabla 6 se muestran algunos de los servicios que brinda esta unidad. Se puede apreciar que se han distribuido más de 66 toneladas de “semilla” mejorada de hongos comestibles. Esto ha representado ingresos institucionales por más de 1.9 millones de pesos, lo que demuestra su aportación a la cadena de valor a través de la vinculación directa con el sector productivo. El impacto del

Tabla 6. Aplicación del modelo de vinculación y retroalimentación del CP, *Campus* Puebla, con el Sistema Producción-Consumo de los Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales en México.

Año	“Semilla” (kg)		Promoción de nuevas variedades*		Información**	Capacitación (Cursos)	Ingresos (M.N.)	Productores apoyados
	G1	Comercial	Unidades de producción inoculadas	Hongos frescos (kg)				
1996		40				1	\$ 5 800.00	3
1997		732.05					\$ 12 481.00	4
1998		1 108.33					\$ 16 725.00	24
1999		2 578.58					\$ 48 740.00	55
2000	2	1 889.15				1	\$ 46 728.50	94
2001	14	5 182.75				3	\$ 120 157.50	111
2002	46	8 618.70					\$ 142 712.50	139
2003	4	5 205.00					\$ 155 510.00	108
2004	2	2 966.88	50	23.8	16	4	\$ 102 117.50	109
2005	4	4 817.80	135	73.3	42	2	\$ 183 536.00	171
2006	1	3 922.81	453	16.5	24	1	\$ 132 944.87	129
2007	2	4 130.00	176	13.65	18	2	\$ 159 512.00	153
2008	3	5 901.00	28		3		\$ 179 489.00	178
2009	7	3 057.5	1	1	1		\$ 92 295.00	118
2010	4	2 357.00	3	22.8	30		\$ 86 281.00	180
2011		2 958.11	7		2	2	\$ 90 680.00	128
2012	6	3 940.99			2	3	\$ 107 710.00	145
2013	6	2 907.30			10	2	\$ 106 869.00	134
2014		3 907.5			2	1	\$ 127 225.00	174
Total	101	66 221.45	853	151.05	150	22	\$ 1 917 513.87	2 157

G1 = Primera generación.

* Principalmente, “pechuga de pollo” (*Neolentinus lepideus*), el “shiitake” (*Lentinula edodes*), el “zhengjigu” (*Hypsizygus marmoreus*) y diversas especies de “setas” no producidas comercialmente (*Pleurotus* spp.).

** Venta de publicaciones del grupo de investigación (e.g., Martínez-Carrera *et al.*, 2004, 2010).

CEVIN-HCFM desde 1996 al 2014 muestra que se han atendido a 2 157 productores de hongos comestibles en la mayor parte del país. Los servicios que ofrece dicha unidad también incluyen la venta de “semilla” o de unidades de producción inoculadas con las cepas que solicitan los productores. Actualmente, los productores obtienen la “semilla” directamente en el laboratorio, lo que les permite una interacción personal con los investigadores y una asesoría sin costo por política institucional.

Por otro lado, en relación a los estudios sobre la producción de hongos comestibles en sustratos estériles de paja de cebada y la fórmula COLPOS 17, en la Tabla 7 se muestra la EB de 19 cepas comerciales de *Pleurotus* depositadas en el CREGEN-HCFM. Se registraron EBs mayores a 100 % en los sustratos estudiados, así como variabilidad en color y temperatura de fructificación, lo que demostró que representan una buena alternativa para los productores de “setas” en México. Sin embargo, debe señalarse que los rendimientos dependen del sustrato utilizado, las condiciones de cultivo, y la ubicación geográfica del productor. El análisis molecular (ITS-ADN) de las cepas indicó que la mayoría provienen del extranjero y que pertenecen a la especie *P. ostreatus*. En la Figura 7 se muestran las relaciones filogenéticas de 20 cepas de *P. ostreatus* que se han analizado, observando una relación muy cercana entre las cepas cultivadas en México con aquellas de E.U.A. y Europa.

Los productores de hongos poseen un mejor conocimiento de la demanda de los consumidores y toman la iniciativa de seleccionar las cepas de acuerdo al mercado. Resulta de gran importancia económica para el CEVIN-HCFM la cepa CP-50 de *P. ostreatus*, híbrido comercial formado en el laboratorio en 1994 (Morales *et al.*, 1995), ya cuenta con altos niveles de venta a nivel local, regional y nacional.

Los hongos siempre han sido considerados como alimento nutritivo y de bajo contenido de calorías. En la Tabla 8 se muestra el contenido de la proteína en extractos acuosos y alcohólicos de seis especies de hongos comestibles cultivados en tres sustratos. El mayor contenido de proteína se registró en extractos etanólicos, siendo de 1.9 mg/mL de extracto para *L. edodes*, de 1.8 mg/mL para *G. lucidum* y de 1.6 mg/mL para *V. bombycina*.

Otra actividad de vinculación importante que lleva a cabo el CEVIN-HCFM corresponde a los cursos de capacitación sobre el cultivo de hongos comestibles a productores de diversas regiones del país (Figura 8). De 1996 al 2014 se han llevado a cabo 22 cursos teórico-prácticos que incluyen la elaboración del inóculo o “semilla”, la siembra en sustratos pasteurizados o estériles, la cosecha, el manejo de plagas y enfermedades del cultivo, y la situación del mercado nacional e internacional. De esta manera se difunden las aportaciones de los hongos comestibles, funcionales y medicinales a la alimentación y al desarrollo sustentable (Chang y Buswell, 2003; Sullivan *et al.*, 2006; Martínez-Carrera *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2007; Calvo *et al.*, 2013; Feeney *et al.*, 2014).

Tabla 7. Relación de cepas comerciales de “setas” (*Pleurotus*) cultivadas en la Unidad de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM), con potencial de producción en México.

Especie	Cepa	Procedencia	Substrato	EB (%)
<i>Pleurotus pulmonarius</i>	CP-16	Hong Kong	COLPOS-17	70.8±7.3
			PCPE	31.2±8.7
	CP-47	Morelos	COLPOS-17	53.0±4.4
			PCPE	36.5±18.6
<i>P. ostreatus</i> var. <i>florida</i>	CP-11	Alemania	COLPOS-17	62.7±7.1
			PCPE	71.5±9.4
	CP-26	Estado de México	COLPOS-17	35.0±9.2
			PCPE	132.1±24.3
<i>P. ostreatus</i>	CP-21	Comercial	COLPOS-17	52.1±6.3
			PCPE	56.2±3.7
	CP-22	Estado de México	COLPOS-17	48.5±8.4
			PCPE	97.6±13.5
	CP-23	Comercial	COLPOS-17	72.2±19.4
			PCPE	71.9±3.7
	CP-32	Chiapas	COLPOS-17	42±8.4
			PCPE	81.8±6.8
	CP-36	Alemania	COLPOS-17	40.1±6.6
			PCPE	98.0±19.4
	CP-37	Alemania	COLPOS-17	141.5±11.4
			PCPE	131.1±19.3
	CP-41	Rusia	COLPOS-17	31.5±6.8
			PCPE	88±24.43
	CP-50	Alemania	COLPOS-17	37.9±7.0
			PCPE	131.2±23.1
	CP-90	Morelos	COLPOS-17	45.2±9.3
			PCPE	111.1±14.4
	CP-168	Estado de México	COLPOS-17	58.6±10.6
			PCPE	124.3±17.6
	CP-186	Estado de México	COLPOS-17	72.4±10.5
			PCPE	118.8±28.1
	CP-193	Hidalgo	COLPOS-17	58.3±16.3
			PCPE	115.2±6.1
	CP-196	Estado de México	COLPOS-17	53.3±10.1
			PCPE	113.8±20.6
	CP-197	Estado de México	COLPOS-17	46.9±9.2
			PCPE	47.2±7.4
	CP-198	Estado de México	COLPOS-17	49.4±9.3
			PCPE	90.2±19.3

COLPOS-17=Formulación del Colegio de Postgraduados (CP). EB=Eficiencia biológica. PCPE=Paja de cebada pasteurizada estéril.

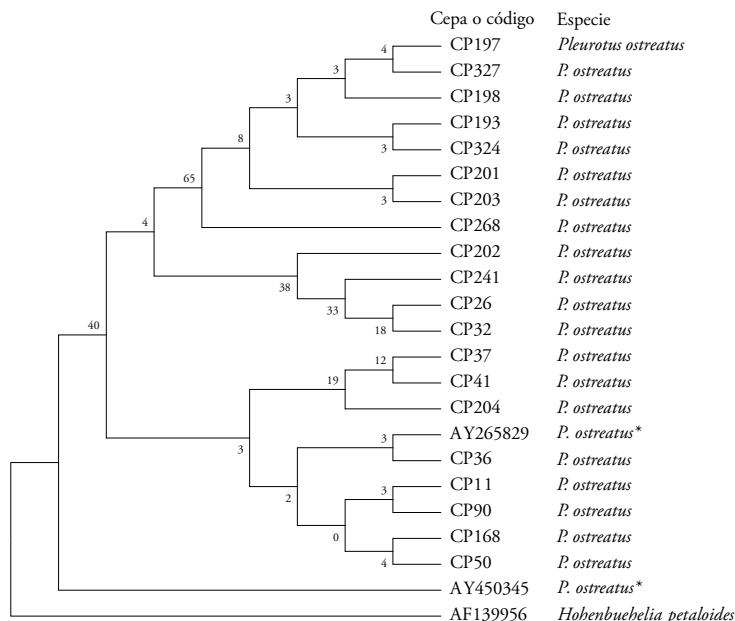


Figura 7. Árbol filogenético que muestra las relaciones entre las cepas comerciales de hongos comestibles (*Pleurotus*) que se cultivan en México, empleando secuencias de la región ITS del ADNr. El árbol consenso se obtuvo por el método de máxima parsimonia con un *bootstrap* de 1000 réplicas por medio del programa MEGA6 (Tamura *et al.*, 2007). El alineamiento y análisis de las secuencias se realizó con el mismo programa. Los valores del *bootstrap* están señalados en el nodo de cada linaje. Con un asterisco se señalan las especies de *P. ostreatus* que pertenecen al Clado I, de acuerdo con Vilgalys *et al.* (1996). *Hohenbuehelia petaloides* se usó como grupo externo. El código de las cepas y las secuencias del ADN corresponden a la base de datos de la CREGEN-HCFM, CP, *Campus* Puebla, o al número de acceso en el *European Bioinformatic Institute*, Inglaterra (EBI).

VI. Retos y perspectivas

Los Centros de Recursos Biológicos se han convertido en una pieza fundamental para el desarrollo de las ciencias biológicas y la biotecnología en el siglo XXI. Se trata de aquellos centros que proporcionan servicios estratégicos y el mantenimiento de células vivas, genomas de organismos, y la información relacionada con la herencia y las funciones de los sistemas biológicos (OECD, 2001). En este contexto, el CREGEN-HCFM del Colegio de Postgraduados, *Campus* Puebla, se plantea como misión la conservación, el mantenimiento y caracterización de los recursos genéticos de hongos comestibles que se desarrollan México, incluyendo sus elementos moleculares del ADN y bases de datos asociadas, así como de colecciones especiales relevantes. Además, la vinculación del CREGEN-HCFM consiste en proporcionar servicios a las instituciones públicas y privadas,

Tabla 8. Contenido de proteína en extractos acuosos y etanólicos de los basidiocarpos de diferentes recursos genéticos de hongos comestibles, funcionales y medicinales de México.

Especie	Cepa	Substrato	Proteína (mg de proteína/mL)	Tipo de extracto
<i>Ganoderma lucidum</i>	CP-145	Aserrín de encino	1.8 ± 0.04	Etanólico
<i>Lentinula boryana</i>	CP-519	Aserrín de encino	1.3 ± 0.05	Etanólico
<i>L. edodes</i>	CP-7	Aserrín de encino	1.9 ± 0.05	Etanólico
<i>Pleurotus ostreatus</i>	CP-21	PCPE	0.5 ± 0.08	Acuoso
		COLPOS-17	0.3 ± 0.02	Acuoso
	CP-22	PCPE	0.1 ± 0.02	Acuoso
		COLPOS-17	0.1 ± 0.03	Acuoso
	CP-50	PCPE	0.1 ± 0.04	Acuoso
		COLPOS-17	0.1 ± 0.01	Acuoso
	CP-201	PCPE	0.01 ± 0.01	Acuoso
		COLPOS-17	0.1 ± 0.04	Acuoso
	CP-240	PCPE	0.1 ± 0.01	Acuoso
		COLPOS-17	0.2 ± 0.02	Acuoso
<i>Pleurotus spp.</i>	CP-528	PCPE	0.2 ± 0.00	Acuoso
		COLPOS-17	0.2 ± 0.03	Acuoso
<i>P. pulmonarius</i>	CP-16	PCPE	0.2 ± 0.04	Acuoso
		COLPOS-17	0.1 ± 0.05	Acuoso
<i>Volvariella bombycina</i>	CP-675	PCPE	1.6 ± 0.1	Etanólico
	CP-733	PCPE	1.4 ± 0.2	Etanólico

COLPOS-17=Formulación del Colegio de Postgraduados (CP). PCPE=Paja de cebada pasteurizada estéril.

mediante la distribución e intercambio de cepas, así como información científica con propósitos educativos y de investigación. También apoya a la cadena de valor de los hongos comestibles, funcionales y medicinales a través de la generación de innovaciones para el sector productivo social (productores rurales) y privado (empresas) del país, a través de la Unidad de Productos Biotecnológicos asociada al Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CEVIN-HCFM). Se considera que un país megadiverso como México, susceptible a la biopiratería derivada de la revolución biotecnológica, debe regular y fortalecer estratégicamente la conservación, el estudio, la utilización, el acceso, y el aprovechamiento de sus recursos genéticos para generar innovaciones que tengan impacto directo en la cadena de valor de los hongos comestibles, funcionales y medicinales.



Figura 8. Cursos de capacitación a productores de diversas regiones del país sobre el cultivo de hongos comestibles, funcionales y medicinales que se llevan a cabo en la Unidad de Productos Biotecnológicos asociada al Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CEVIN-HCFM) del Colegio de Postgraduados (CP), *Campus Puebla*.

Literatura citada

- Barros, L., T. Cruz, P. Baptista, L. M. Estevinho & I. C. Ferreira. 2008. Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food and Chemical Toxicology* 46:2742-2747.
- Calvo, M. S., U. S. Babu, L. H. Garthoff, T. O. Woods, M. Dreher, G. Hill & S. Nagaraja. 2013. Vitamin D₂ from light-exposed edible mushrooms is safe, bioavailable and effectively supports bone growth in rats. *Osteoporosis International* 24:197-207.
- Castle, A., D. Speranzini, N. Rghei, G. Alm, D. Rinker & J. Bissett. 1998. Morphological and molecular identification of *Trichoderma* isolates on North American mushroom farms. *Applied and Environmental Microbiology* 64:133-137.
- Chang, S. T. & J. A. Buswell. 2003. Medicinal mushrooms - a prominent source of nutraceuticals for the 21st century. *Current Topics in Nutraceutical Research* 1:257-280.
- Feeney, M. J., J. Dwyer, C. M. Hasler-Lewis, J. A. Milner, M. Noakes, S. Rowe, M. Wach, R. B. Beelman, J. Caldwell, M. T. Cantorna, L. A. Castlebury, S. T. Chang, L. J. Cheskin, R. Clemens, G. Drescher, V. L. Fulgoni, D. B. Haytowitz, V. S. Hubbard, D. Law, A. Myrdal-Miller, B. Minor, S. S. Percival, G. Riscuta, B. Schneeman, S. Thornsby, C. D. Toner, C. E. Woteki & D. Wu. 2014. Mushrooms and health summit proceedings. *Journal of Nutrition* 144(7):1128S-1136S.
- Hawksworth, D. L. 2004. Fungal diversity and its implications for genetic resource collections. *Studies in Mycology* 50:9-18.
- Martínez-Carrera, D., A. Larqué-Saavedra, A. Tovar Palacio, N. Torres, M. E. Meneses, M. Sobal Cruz, P. Morales Almora, M. Bonilla Quintero, H. Escudero Uribe, I. Tello-Salgado, T. Bernabé-González, W. Martínez Sánchez & Y. Mayett. 2015. Contribución de los hongos comestibles, funcionales y medicinales a la construcción de un paradigma sobre la producción, la dieta, la salud y la cultura en el sistema agroalimentario de México. *En: Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México*. Eds. D. Martínez-Carrera & J. Ramírez Juárez. Biblioteca Básica de Agricultura, IICA, Academia Mexicana de Ciencias, México, D.F.
- Martínez-Carrera, D., M. Sobal, P. Morales, W. Martínez, M. Martínez & Y. Mayett. 2004. *Los Hongos Comestibles: Propiedades Nutricionales, Medicinales, y su Contribución a la Alimentación Mexicana*. CP-BUAP-UPAEP-IMINAP, Puebla. 44 pp.
- Martínez-Carrera, D., N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales & V. M. Mora (Eds.). 2010. *Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y*

- Perspectivas en el Siglo XXI. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla. 648 pp.
- Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla & W. Martínez. 2007. México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción consumo de los hongos comestibles. Capítulo 6.1, pp. 209-224. *En: El Cultivo de Setas Pleurotus spp. en México*. Eds. J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata & H. Leal Lara. ECOSUR-CONACYT, México, D.F.
- Morales, P., M. Sobal, M. Bonilla, W. Martínez & D. Martínez-Carrera. 2007. El Centro de Vinculación con el Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles (CVINHCO) del Colegio de Postgraduados. Capítulo 3.8, pp. 149-159. *En: El Cultivo de Setas Pleurotus spp. en México*. Eds. J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata & H. Leal Lara. ECOSUR-CONACYT, México, D.F.
- Morales, P., M. Sobal, M. Bonilla, W. Martínez, P. Ramírez-Carrasco, I. Tello, T. Spezzia, N. Lira, R. De Lima, S. Villa, E. Montiel & D. Martínez-Carrera. 2010. Los hongos comestibles y medicinales en México: recursos genéticos, biotecnología y desarrollo del sistema de producción consumo. Pp. 91-108. *En: Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI*. Eds. D. Martínez-Carrera, N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales & V.M. Mora. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla. 648 pp.
- Morales, P., M. Sobal, W. Martínez, A. Larqué-Saavedra & D. Martínez-Carrera. 1995. La cepa CP-50 de *Pleurotus ostreatus*, híbrido comercial seleccionado por mejoramiento genético en México. *Micología Neotropical Aplicada* 8:77-81.
- National Committee for Clinical Laboratory Standards. 2000. Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically. 5th edition. Approved Standard M7-A5. Wayne, PA.
- OECD. 2001. *Biological Resource Centers, underpinning the Future of Life Sciences and Biotechnology*. París, Francia. 66 pp.
- OCDE. 1997. *Propiedad Intelectual, Transferencia de Tecnología y Recursos Genéticos*. París, Francia. 99 pp.
- Ortega, P. 2002. Plagas, enfermedades y competidores en plantas productoras de hongos comestibles en la región central de México y la estrategia para su prevención y control. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Puebla.
- Peña-Luna, M., A. Hidalgo-Miranda, S. Romero-Córdoba, M. Sobal Cruz, P. Morales Almora, G. Jiménez-Sánchez & D. Martínez-Carrera. 2015. Genómica de las propiedades anticancerígenas de los hongos comestibles, funcionales y medicinales: investigaciones INMEGEN-CP. *En: Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México*. Eds. D. Martínez-Carrera & J. Ramírez Juárez. Biblioteca Básica de Agricultura, IICA, Academia Mexicana de Ciencias, México, D.F.
- Sobal, M., P. Morales, M. Bonilla, G. Huerta & D. Martínez-Carrera. 2007. El Centro de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles (CREGENHC) del Colegio de Postgraduados. Capítulo 2.1, pp. 27-40. *En: El Cultivo de Setas Pleurotus spp. en México*. Eds. J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata & H. Leal Lara. ECOSUR-CONACYT, México, D.F.
- Sullivan, R., J. E. Smith & N. J. Rowan. 2006. Medicinal mushrooms and cancer therapy: translating a traditional practice into Western medicine. *Perspectives in Biology and Medicine* 49(2):159-170.
- Vilgalys, R., J.-M. Moncalvo, S.-R. Liou & M. Volovsek. 1996. Recent advances in molecular systematics of the genus *Pleurotus*. Pp. 91-101. *En: Proceedings II International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*. Ed. D. J. Royse. Pennsylvania State University, University Park.
- Tamura, K., J. Dudley, M. Nei & S. Kumar. 2007. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. *Molecular Biology and Evolution* 24:1596-1599.

Se terminó de imprimir en enero de 2016, en
Printing Arts México, Guadalajara, Jalisco, México
El tiraje consta de 1 000 ejemplares

Con el impulso de las grandes revoluciones científico-tecnológicas, el proceso de globalización en el mundo ha dado origen a una crisis civilizatoria de carácter multidimensional, porque no sólo es social y económica, sino también ecológica, energética y alimentaria. Su magnitud afecta los pilares que sustentan la supervivencia humana, sobre todo si se considera el fenómeno del cambio climático. En este contexto, el Sistema Agroalimentario de México es un componente estratégico para garantizar la seguridad alimentaria, la seguridad nacional y el desarrollo sustentable de la sociedad.

México tiene una condición privilegiada en el mundo. Cuenta con un acervo histórico que concentra una gran riqueza cultural, notable sustento alimentario por haber sido centro de origen de la agricultura, amplia diversidad biológica, un patrón alimentario de los más diversos que existen, y abundantes recursos naturales. Esta condición garantizó por siglos la dieta de la población mexicana, cumpliendo con los principios fundamentales de una alimentación sana y equilibrada. Sin embargo, las asimetrías ocasionadas por el contexto internacional y la complejidad de las políticas públicas establecidas durante las últimas décadas han generado cambios radicales en la producción de alimentos, así como en los principios que sustentaban la dieta de la población, a nivel nacional y regional, convirtiendo a México en un importador agroalimentario neto.

En este libro, los expertos más reconocidos en diversas disciplinas abordan, de manera integral y a profundidad, el Sistema Agroalimentario de México, analizando los ejes temáticos de sociedad y alimentación, alimentos y recursos base, alimentos y salud, así como de alimentos, sociedad y cultura. Asimismo, de manera específica, se abordan los sistemas agroalimentarios sustentables de origen vegetal, animal y microbiano. Se argumenta la necesidad de generar un enfoque transversal que promueva la producción y el consumo de alimentos con impacto no sólo en la dieta y la salud humana, sino que también formen parte de la cultura de la población.

También se plantea la conformación de un sistema nacional integrado de instituciones relacionadas con la ciencia, tecnología e innovación en el sector agroalimentario, el cual permita concentrar las investigaciones en los ejes temáticos de mayor relevancia, así como transferir de manera eficiente el conocimiento generado. La construcción de un enfoque de esta naturaleza es impostergable, ya que los alimentos serán cada día más estratégicos en la economía mundial y el futuro de la humanidad.



ISBN 978-607-715-314-6



Martínez-Carrera
Ramírez Juárez
Editores

Ciencia, Tecnología e Innovación en
el Sistema Agroalimentario de México