

EL IMPACTO DE LOS FONDOS MIXTOS EN EL DESARROLLO REGIONAL

VOLUMEN II

DIRECTORIO

Dr. Juan Pedro Laclette

Coordinador General

Fís. Patricia Zúñiga-Bello

Secretaria Técnica

MESA DIRECTIVA

Academia Mexicana de Ciencias	Dr. Arturo Menchaca Rocha
Academia de Ingeniería	Ing. José Antonio Ceballos Soberanis
Academia Nacional de Medicina	Dr. David Kershenobich Stalnikowitz
Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico	Dr. Sergio Ulloa Lugo
Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior	Dr. Rafael López Castañares
Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos	Ing. Salomón Presburger Slovik
Consejo Nacional Agropecuario	Lic. Juan Carlos Cortés García
Confederación Patronal de la República Mexicana	Lic. Gerardo Gutiérrez Candiani
Cámara Nacional de la Industria de Transformación	Ing. Sergio Cervantes Rodiles
Red Nacional de Consejos y Organismos Estatales de Ciencia y Tecnología	Mtro. Miguel O. Chávez Lomelí
Universidad Nacional Autónoma de México	Dr. José Narro Robles
Instituto Politécnico Nacional	Dra. Yoloxóchitl Bustamante Diez
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN	Dr. J. P. René Asomoza Palacio
Academia Mexicana de la Lengua	Dr. José G. Moreno de Alba
Academia Mexicana de Historia	Dra. Gisela Von Wobeser Hoepfner
Sistema de Centros Públicos de Investigación	
Consejo Mexicano de Ciencias Sociales	Dra. Cristina Puga Espinosa
Investigadora electa	Dra. Leticia M. Torres Guerra
Investigador electo	Dr. Antonio E. Lazcano Araujo
Investigador electo	Dr. Juan José Saldaña González

EL IMPACTO DE LOS FONDOS MIXTOS EN EL DESARROLLO REGIONAL

VOLUMEN II



Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC

Insurgentes Sur No. 670, Piso 9
Colonia Del Valle
Delegación Benito Juárez
Código Postal 03100
México, Distrito Federal
www.foroconsultivo.org.mx
foro@foroconsultivo.org.mx
Tel. (52 55) 5611-8536

Responsables de la edición:

Juan Pedro Laclette
Patricia Zúñiga
Jorge Alberto Romero

Compiladores:

Brenda Figueroa Ramírez
Byndi Olea Bañuelos

Coordinador de edición:

Marco A. Barragán García

Corrección de estilo:

Ma. Areli Montes Suárez

Diseño de portada e interiores:

Víctor Daniel Moreno Alanís

Cualquier mención o reproducción del material de esta publicación puede ser realizada siempre y cuando se cite la fuente.

DR Febrero 2011, FCCyT

ISBN 978-607-95050-7-3 (O.C)
978-607-95050-9-7 (V.II)

Impreso en México

ÍNDICE

VOLUMEN II

▶ Morelos	11
Ingeniería Metabólica para la Obtención de Etanol Carburante a Partir de Hidrolizados de Bagazo de Caña	13
Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México	
Sistemas para la Captación y Potabilización de Aguas Pluviales para Uso y Consumo Humano en Comunidades Rurales del Norte del Estado de Morelos	25
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	
▶ Nayarit	41
Evaluación de la Toxicidad de Cepas Bacterianas Entomopatógenas Nayaritas para el Desarrollo de un Bioinsecticida contra el Gusano Telarañero del Aguacate	43
Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional	
Optimización del Proceso de Conservación de Frutas Regionales Tropicales por la Tecnología de Métodos Combinados, Autoestabilizados en el Envase ...	51
Centro de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit	
▶ Nuevo León	59
Creación de la Unidad Monterrey del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica del Estado de Nuevo León	61
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial	
Creación del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Estudios del Agua dentro del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica	65
ITESM Campus Monterrey	

Puebla	75
Diversidad Genética, Conservación y Fitomejoramiento de Poblaciones Locales de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) en las Principales Regiones Productoras de Puebla	77
Colegio de Postgraduados-Unidad Puebla	
Producción Orgánica Intensiva de <i>Shii-take</i> Japonés (<i>Lentinula edodes</i>) y <i>Shii-take</i> Mexicano (<i>L. boryana</i>) en Puebla: Desarrollo de un Proceso Biotecnológico Comercial y el Análisis de su Competitividad en el Mercado Nacional de los Hongos Comestibles	85
Colegio de Postgraduados	
Obtención de Productos de Valor Agregado del Bagazo del Café por el Método Catalítico	103
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	
Querétaro	113
Obtención y Caracterización de Películas para Bolsas Biodegradables Utilizando la Tecnología de Extrusión Termoplástica	115
CINVESTAV-Unidad Querétaro	
Estado Actual de la Flora y la Vegetación Nativa del Municipio de Querétaro y Zona Conurbada	125
Universidad Autónoma de Querétaro	
Desarrollo de un Sistema de Control Climático Inteligente para Invernaderos	131
Universidad Autónoma de Querétaro	
Quintana Roo	141
El Tráiler de la Ciencia	143
Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología	
Red de Monitoreo Estatal de Parámetros Relacionados con Proyectos de Energía	151
Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología	

San Luis Potosí	159
Cáncer Cervicouterino e Infecciones por Virus del Papiloma Humano en el Estado de San Luis Potosí	161
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, AC	
Optimización de Operación de Planta Tratadora de Aguas Residuales	177
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	
Sinaloa	185
Protocolo de Manejo y Bioseguridad para el Cultivo de Camarón en Jaulas Flotantes	187
Centro de Ciencias de Sinaloa	
Actualización del Programa de Ordenamiento Territorial del Estado de Sinaloa	195
Universidad Autónoma de Sinaloa	
Maestría en Docencia de las Ciencias Básicas, Opción Campo Formativo de Matemáticas (Primera Fase)	211
Universidad Autónoma de Sinaloa	
Sonora	223
Estudio de la Recuperación y Características Funcionales y Nutricias de Proteína de Desechos de Camarón	225
Instituto Tecnológico de Sonora	
Desarrollo de un Método para la Obtención del Extracto Activo de Sulforafano a Partir de Subproductos de Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> L.)	237
Instituto Tecnológico de Sonora	
Sistema de Monitoreo de Calidad por Perfilometría Óptica	247
Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Avanzada, SA de CV	
Tabasco	255
Estudio e Implementación de Mejoras Tecnológicas en los Procesos de Producción del Cacao al Chocolate	257
Chocolates “Wolter”	

Tamaulipas	265
Investigación y Desarrollo de Aplicaciones en Aceros de Alta Resistencia	267
Industrias Gobar, S de RL de CV	
Desarrollo de Módulo de Alimentación y Módulo de Enfriamiento Inteligentes para Láser de ND:YAG de Alta Potencia con Régimen de Explotación Industrial	271
HYTECK SA de CV y CICATA-IPN, Unidad Altamira	
Desarrollo Industrial de Productos Orgánicos de Manufactura Artesanal en la Comunidad de Francisco Medrano, Municipio de Tula, Tamaulipas	283
Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas	
Tlaxcala	293
Transferencia y Adopción de Tres Eco-tecnologías para el Aprovechamiento de los Traspacios en Áreas Periurbanas de Tlaxcala	295
Colegio de Postgraduados	
Migración y Pobreza: Remesas, Condiciones de Vida y Trayectorias Laborales de Migrantes Tlaxcatelcas en Estados Unidos y Canadá	303
El Colegio de Tlaxcala, AC	
Análisis Espacio-Temporal de los Contaminantes del Río Zahuapan, Tlaxcala	313
Facultad de Agrobiología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala	
Veracruz	323
Evaluación del Riesgo para la Truticultura de la Infección por <i>Gyrodactylus</i>	325
Instituto de Ecología, AC	
Yucatán	335
Estudio sobre Leptospirosis en Municipios del Estado de Yucatán, severamente Afectados por el Huracán Isidoro	337
Universidad Autónoma de Yucatán	
Impacto de Lixiviado de Basureros en el Acuífero Cárstico de Mérida, Yucatán	343
Universidad Autónoma de Yucatán	

Zacatecas	349
Estado y Conservación del Pino Azul (<i>Pinus maximartinezii</i>) y sus Especies Asociadas en la Sierra de Juchipila, Zacatecas.....	351
Universidad Autónoma de Chapingo	
Ciencia en Todos los Rincones	363
Museo de Ciencias de la Universidad Autónoma de Zacatecas	
Desarrollo de un Nuevo Método de Explotación en la Industria de la Minería a Través del Uso del Pyroblast-C	373
PyroSmart México, SA de CV	
Directorio	385
Directorio de Empresas, Organismos e Instituciones Educativas Participantes.....	387



MORELOS

INGENIERÍA METABÓLICA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL CARBURANTE A PARTIR DE HIDROLIZADOS DE BAGAZO DE CAÑA¹

Dr. Alfredo Martínez Jiménez²

► Introducción

El etanol, sustituto u oxigenante apropiado para la gasolina, puede ser producido mediante tecnologías biológicas, a partir de material renovable. No es contaminante como el petróleo y su uso no incrementa la concentración neta de dióxido de carbono en la atmósfera (de manera artificial se recicla el carbono). México consume más de 100 millones de litros de gasolina por día; de éstos, en 2001 aproximadamente 30% se importaba de los EUA, en 2004 fue 30% y ahora en 2010 se importará aproximadamente 50% del consumo nacional. Por tanto, se requiere de: un material renovable abundante y barato para competir con los mercados ya establecidos; reducir el uso de oxigenantes tóxicos, como el MTBE que actualmente se utiliza en México; evitar o reducir la importación de gasolina; y planear una política energética basada en la generación de combustibles sustentables.

Los materiales lignocelulósicos abundantes, también conocidos por el nombre genérico de “biomasa”, como el bagazo de caña de azúcar (BCA), se encuentran concentrados en varias regiones del país; Morelos entre éstas. El BCA tiene un costo marginal y, al ser

¹ Proyecto FOMIX: MOR-2004-C02-048

Monto aprobado y total: \$800,000.00

² Responsable Técnico del Proyecto: Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

hidrolizado, se pueden obtener azúcares fermentables. Técnica y económicamente es recomendable llevar a cabo una hidrólisis química de la fracción hemicelulósica, la cual constituye aproximadamente 40% del peso seco del BCA y permite generar jarabes con mezclas de azúcares que los contienen de cinco carbonos (como la xilosa y arabinosa) y en una pequeña proporción, azúcares de seis carbonos (como la glucosa). Las levaduras, microorganismos que de forma natural fermentan glucosa a etanol, no tienen la capacidad de fermentar azúcares de cinco carbonos, razón por la cual el principal objetivo de este proyecto fue optimizar los mecanismos moleculares y bioquímicos del metabolismo de xilosa y glucosa en bacterias, con el propósito de aplicar este conocimiento básico para convertir de manera eficiente todos los azúcares presentes en los hidrolizados de la fracción hemicelulósica en etanol.

Por otro lado, para la fracción celulósica es recomendable utilizar un proceso de sacarificación enzimática a glucosa, para que esta última sea fermentada a etanol por levaduras. Internacionalmente, incluyendo nuestro grupo de investigación, se han realizado numerosos estudios para convertir estos azúcares en etanol, pero aún es necesario realizar mejoras en los microorganismos etanológenicos, procesos de hidrólisis y de fermentación para perfeccionar las tecnologías y reducir costos de producción.

► **Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal**

La propuesta atendió la demanda del área 3: Medio Ambiente y Recursos Naturales. Específicamente la 3.1: Desarrollar o aplicar tecnologías alternativas que utilicen fuentes de energías renovables y que incida en el programa de energía del estado de Morelos.

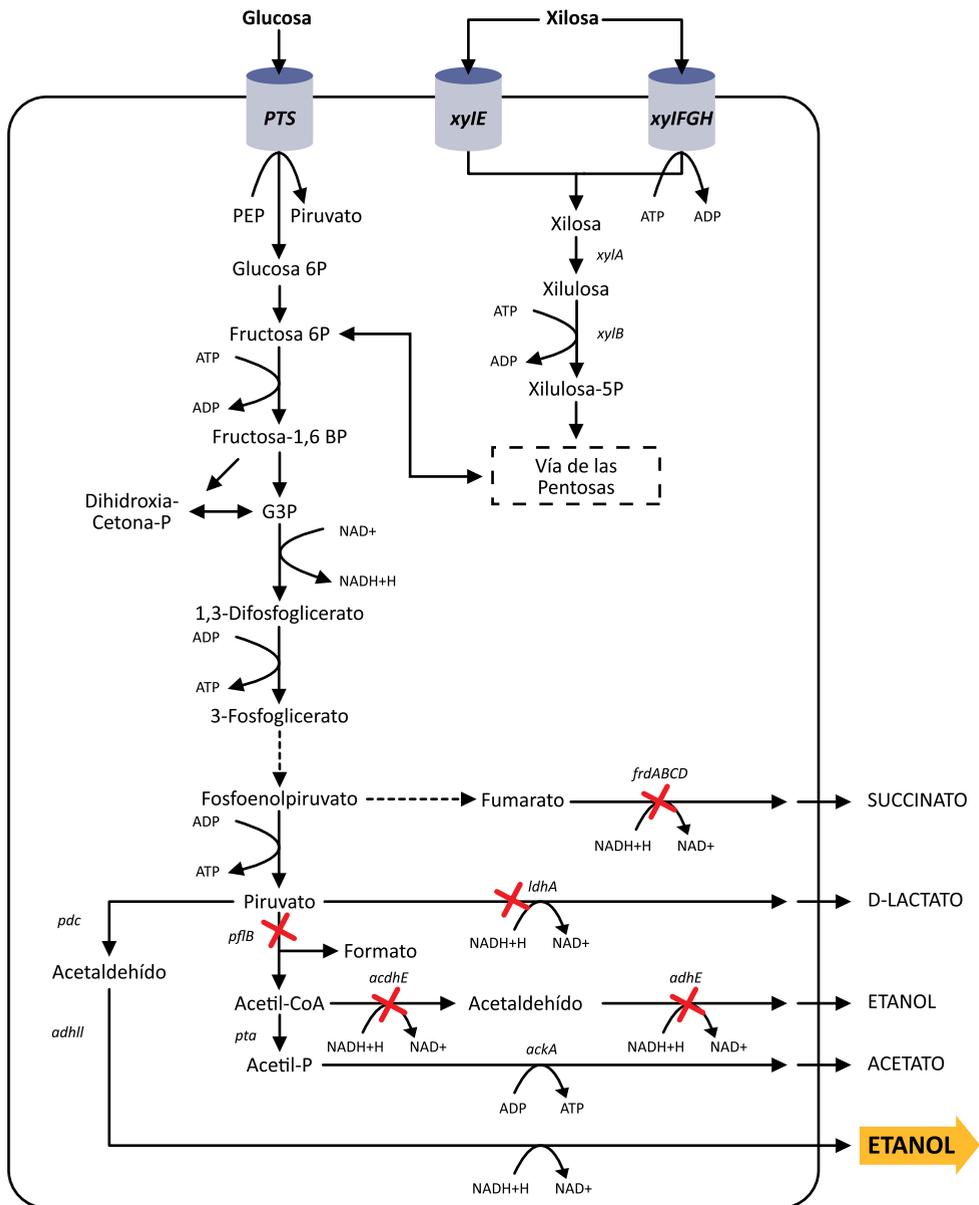
► **Objetivo general**

Optimizar los mecanismos moleculares y bioquímicos del metabolismo de xilosa y glucosa en la bacteria *Escherichia coli*, con el propósito de convertir de manera eficiente los azúcares presentes en los hidrolizados ácidos de la fracción hemicelulósica del bagazo de caña en etanol, al ser suplementados estos últimos con sales minerales y evitar el uso de medios complejos que incrementan el costo de producción. Así mismo, estudiar la hidrólisis enzimática y fermentación simultánea de la fracción celulósica del bagazo de caña con celulasas comerciales y la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, respectivamente.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

En este proyecto se abordó la selección, diseño y construcción, por técnicas de ingeniería metabólica, de nuevas generaciones de cepas etanológenicas de *Escherichia coli* y *Bacillus subtilis*, con el fin de aplicarlas a estudios relacionados con el consumo de azúcares presentes en los hidrolizados de bagazo de caña.

Esquema 1. Interrupción de las vías de fermentación y la vía heteróloga de producción de etanol



Esquema que muestra la interrupción de las vías de fermentación (con una "X") y la vía heteróloga de producción de etanol en el diagrama del metabolismo de glucosa y xilosa en *E. coli* homo-etanológica.

En una segunda etapa las cepas se caracterizaron desde varios enfoques: evaluación de actividades enzimáticas, medición de metabolitos extracelulares, evaluación de flujos metabólicos con glucosa, producción de etanol, productividad, complementando con estudios de expresión de genes del metabolismo central del carbono.

Posteriormente se realizaron modificaciones adicionales orientadas principalmente a eliminar vías de fermentación que compiten con las rutas recombinantes de producción de etanol. Además, en *E. coli* se evaluó la canalización del flujo de carbono a través de vías alternas a la glucólisis, es decir, la vía de la fosfoacetolasa y de Entner-Duodoroff, con el fin de generar una cepa etanológica con características similares a las de la bacteria *Zymomonas mobilis*, pero manteniendo la versatilidad de *E. coli* para utilizar una amplia variedad de azúcares. Algunas de las cepas homoetanológicas obtenidas fueron evaluadas en los azúcares mayoritarios (xilosa y glucosa) presentes en los hidrolizados de bagazo de caña en cultivos lote. También se estudió la hidrólisis de la fracción hemicelulósica con ácido diluido, tanto a escala de laboratorio, como de reactor piloto. Se realizaron algunas pruebas de producción de etanol a partir de estos jarabes a nivel laboratorio y se realizaron experimentos piloto de destilación y deshidratación de etanol.

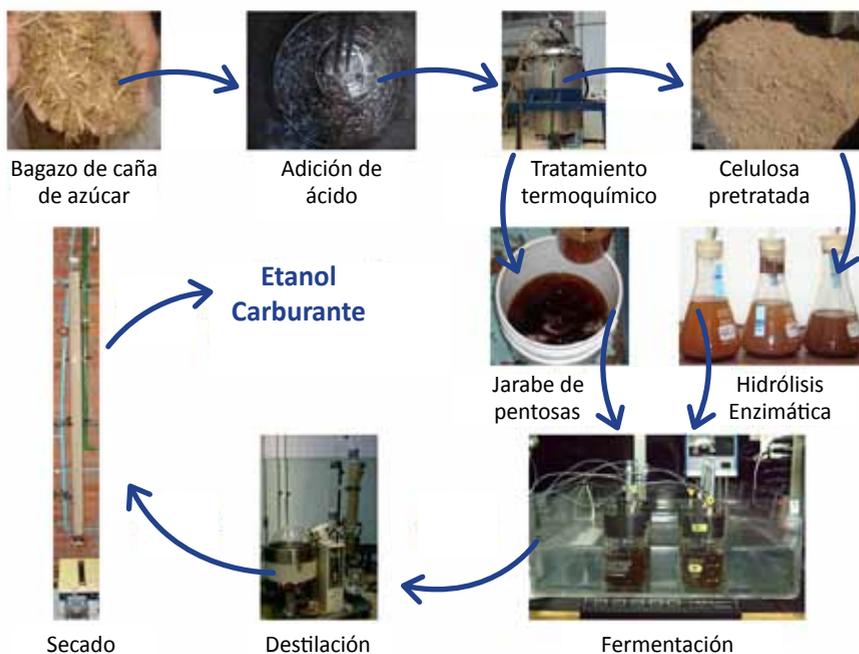
Finalmente se llevaron a cabo ensayos de sacarificación y fermentación simultánea con la fracción celulósica de bagazo de caña pretratado con ácido sulfúrico.

Los principales resultados obtenidos indican que es posible modificar el metabolismo anaerobio de *E. coli*, con la expresión cromosomal de genes que codifican para la vía etanológica de la bacteria *Z. mobilis* y obtener cepas homoetanológicas. Los estudios realizados también indican que el flujo de carbono hacia la producción de etanol es favorecido por la eliminación de vías metabólicas que compiten con la disponibilidad de carbono, y el incremento de las actividades enzimáticas (alcohol deshidrogenasa y piruvato deshidrogenasa) que permiten dirigir el flujo de carbono hacia la formación de etanol.

Por otro lado, mediante la ingeniería metabólica de *B. subtilis* también logramos obtener cepas homoetanológicas; desafortunadamente, las velocidades de producción son muy bajas y al parecer este fenómeno se debe a un problema de desbalance redox intracelular. Estudios adicionales con otra serie de cepas *E. coli* permiten concluir que es posible canalizar el flujo de carbono a través de la vía de Entner-Duodoroff, no obstante, problemas de crecimiento en condiciones anaerobias nos llevaron a replantear la estrategia y usar la evolución adaptativa para generar las cepas etanológicas. Los estudios con la expresión de la fosfoacetolasa no presentaron el efecto esperado y, por tanto, no se continuó estudiando esta estrategia.

El medio de cultivo para el crecimiento y producción también fue optimizado para contener la cantidad mínima necesaria para que *E. coli* crezca en condiciones de fermentación y

Esquema 2. Proceso desarrollado a nivel piloto para producir etanol carburante



Esquema del proceso desarrollado a nivel piloto para producir etanol carburante a partir de bagazo de caña con fermentación de azúcares de cinco y seis carbonos por *Escherichia coli* etanolgénica desarrollada en este trabajo.

produzca eficientemente etanol. También se generaron jarabes ricos en azúcares de cinco carbonos provenientes de la hidrólisis termoquímica de la hemicelulosa del bagazo de caña, tanto a nivel laboratorio como de planta piloto. Éstos fueron fermentados a etanol o lactato con rendimientos cercanos a 95% y productividades de 1 g/L.h. Las pruebas de sacarificación y fermentación simultánea de la fracción celulósica del bagazo de caña con celulasas comerciales, a nivel laboratorio, indican que es posible convertir una fracción de la glucosa contenida en este polímero en etanol; sin embargo, los rendimientos no fueron buenos.

Dados los resultados de sacarificación y fermentación simultánea, no se continuó con estos estudios a nivel piloto, sin embargo, consideramos que es una parte importante hacia donde debemos enfocar estudios futuros. Finalmente, realizamos pruebas de producción de etanol a escala piloto, incluyendo fermentación, destilación y deshidratación del etanol logrando obtener aproximadamente 22 litros de etanol a 96%.

► Productos entregados

El proyecto desarrollado fue de investigación aplicada. Los productos entregados, en los cuales se reconoce el financiamiento por este Fondo, quedaron constituidos por: Manuscritos Nacionales (4); Publicaciones Internacionales (4); Manuscritos en Memorias de Congresos Latinoamericanos (3); y Formación de Recursos Humanos: Tesis de Licenciatura (4) y Doctorado (4).

Adicionalmente, durante el desarrollo de este trabajo, se presentaron aproximadamente 30 trabajos en foros nacionales (la mayoría de ellos por invitación) relacionados con el tema del proyecto. Los estudiantes de posgrado presentaron 10 trabajos en congresos internacionales y fueron merecedores de 4 reconocimientos.

En febrero de 2009 concluyó de forma oficial el apoyo por parte del FOMIX CONACYT-Edo. de Morelos. En agosto del mismo año, se sometió la primera versión de patente al Instituto Mexicano de Propiedad Intelectual y, dado el potencial de los resultados reportados en ésta (los cuales abarcan parte de los resultados obtenidos por este apoyo y se complementó con los resultados obtenidos de apoyos de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM y del Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT), en agosto de 2010 se sometió la patente a nivel internacional. Ambas patentes fueron sometidas través de la Secretaría de Gestión y Transferencia de Tecnología del Instituto de Biotecnología de la UNAM.

1. Manuscritos Nacionales

- 1.1. A. Martínez-Jiménez, M.E. Rodríguez Alegría, A. López-Munguía Canales y G. Gosset Lagarda. “¿Etanol carburante a partir de bagazo de caña?” *Claridades Agropecuarias. Publicación Mensual de la SAGARPA*. Pp. 33-39. Julio 2006.
- 1.2. S. Romero García, M. Orencio Trejo, G. Gosset Lagarda, A. Martínez- Jiménez. “Ingeniería metabólica, residuos agroindustriales y etanol carburante”. *Revista Ciencia y Desarrollo- CONACYT*. Vol.33, No. 210, Pp. 60-66. Agosto 2007
- 1.3. A. Martínez-Jiménez. “Etanol carburante, el caso de Brasil y visión de largo plazo”. Periódico: *La Unión de Morelos*. Pp. 30, Lunes 30 de marzo de 2008.
- 1.4. A. Martínez-Jiménez, G. Gosset Lagarda. “Ingeniería metabólica de bacterias”. Capítulo del libro: *Una ventana al quehacer científico: Instituto de Biotecnología de la UNAM, 25 Aniversario*. Pp. 373-384. 2008.

2. Manuscritos Internacionales en revistas indexadas

- 2.1. Montserrat Orencio-Trejo, Noemí Flores, Adelfo Escalante, Georgina Hernández-Chávez, Francisco Bolívar, Guillermo Gosset, Alfredo Martínez. “Metabolic regulation analysis of an ethanologenic *Escherichia coli* strain based on RT-PCR and enzymatic activities”. *Biotechnology for Biofuels*, 1, 8.

- 2.2. Gerardo Huerta-Beristáin, José Utrilla, Georgina Hernández-Chávez, Francisco Bolívar, Guillermo Gosset, Alfredo Martínez. "Specific ethanol production rate in ethanologenic *Escherichia coli* strain KO11 is limited by pyruvate decarboxylase". *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 15, 55-64, 2008.
- 2.3. Susana Romero, Enrique Merino, Francisco Bolívar, Guillermo Gosset, Alfredo Martínez. "Metabolic engineering of *Bacillus subtilis* for ethanol production: Lactate dehydrogenase plays a key role in the fermentative metabolism". *Applied and Environmental Microbiology*, 73, 5190-5198, 2007.
- 2.4. Consuelo Vázquez-Limón, Joel Vega-Badillo, Alfredo Martínez, Gabriela Espinosa-Molina, Guillermo Gosset, Xavier Soberón, Agustín López-Munguía, Joel Osuna. "Growth rate of a non-fermentative *Escherichia coli* strain is influenced by NAD⁺ regeneration". *Biotechnology Letters*, 29, 1857-1863, 2007.

3. Manuscritos en Memorias de congresos latinoamericanos

- 3.1. M. Orencio Trejo, G. Huerta Beristáin, G. Gosset Lagarda, A. Martínez Jiménez. "Producción de etanol carburante a partir de bagazo de caña". Diversificación 2008, Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados: Taller Internacional sobre Producción Sostenible de Alcohol y Bebidas. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Habana, Cuba. 15 de octubre de 2008. 9 pp.
- 3.2. Martín, C. Moss, T. Fernández, A. Martínez. "Sacarificación y fermentación simultáneas de bagazo de caña de azúcar para la producción de etanol". Diversificación 2008, Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados: Taller Internacional sobre Producción Sostenible de Alcohol y Bebidas. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Habana, Cuba. 15-17 de octubre de 2008. 7 pp.
- 3.3. M. Orencio-Trejo, S. Romero, A. Martínez. "Estado del arte para la obtención de etanol a partir de residuos agroindustriales". III Simposio sobre Biofábricas: "La Biotecnología como Herramienta para el Desarrollo y el Bienestar". Medellín, Colombia. 15-17 de agosto de 2007. 11 pp.

4. Tesis de licenciatura

- 4.1. Trujillo Martínez, Berenice. "Producción de D-lactato por *Escherichia coli* recombinante a partir de hidrolizados hemicelulósicos de bagazo de caña". Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz. 4 de diciembre de 2008.
- 4.2. Sierra Ibarra, Estefanía. "Construcción de cepas de *Escherichia coli* etanológicas y evaluación de su capacidad productora". Medellín, Colombia. 18 de diciembre de 2008.

- 4.3. Martínez Luna, Sara Berenice. “Aislamiento de un conglomerado bacteriano productor de celulasas a partir de rumen de bovino”. Facultad de Biología-Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. Fecha de inicio: julio de 2007. Fecha de presentación de tesis: 20 de enero de 2010.
- 4.4. Moss Acosta, Cessna Lizbeth. “Evaluación de complejos enzimáticos para hidrolizar celulosa y su aplicación en la producción de etanol”. Instituto Tecnológico de los Mochis. Los Mochis, Sinaloa. Fecha de inicio: julio de 2007. Fecha de presentación de tesis: 4 de junio de 2010.

5. Tesis de doctorado

- 5.1. Romero García, Aída Susana. “Ingeniería de vías metabólicas en *Bacillus subtilis* para la utilización de xilosa y la producción de etanol y L-lactato”. Instituto de Biotecnología-UNAM. 29 de agosto de 2008.
- 5.2. Orencio Trejo, Montserrat. “Regulación metabólica de la glucólisis y vías de fermentación en *Escherichia coli* etanolégena”. Instituto de Biotecnología-UNAM. 6 de noviembre 2008.
- 5.3. Vázquez Limón, María del Consuelo. “Manipulación de las rutas fermentativas de *Escherichia coli* para producción de metabolitos”. Instituto de Biotecnología-UNAM. 13 de febrero de 2009.
- 5.4. Huerta Beristáin, Gerardo. “Modificación del metabolismo central de carbono mediante la introducción de la vía de Entner-Duodoroff de *Zymomonas mobilis* en *Escherichia coli* etanolégena”. Instituto de Biotecnología-UNAM. 12 de junio de 2009.

6. Reconocimientos a estudiantes que participaron en este proyecto

- 6.1. Primer lugar del premio “HyClone-Uniparts–Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería 2004” a la mejor Propuesta de Tesis de Doctorado Nacional en el Área de Biotecnología y Bioingeniería, al proyecto de tesis de doctorado del alumno Gerardo Huerta Beristáin, dentro de las Jornadas Biotecnológicas, Saltillo. Coahuila, 22-24 de septiembre de 2004.
- 6.2. Apoyo para transporte otorgado a Montserrat Orencio Trejo (The Kikkoman Corporation Student Travel Award) en reconocimiento a su resumen del trabajo: Orencio M., G. Hernández-Chávez, G. Gosset, A. Martínez. “Metabolic regulation analysis of ethanologenic *Escherichia coli* based on enzymatic activities”. American Society for Microbiology 106th General Meeting. Orlando, FL, USA. 21-25 de mayo de 2006.
- 6.3. Entrevista a Aída Susana Romero García por MicrobeWorld y la American Society for Microbiology en reconocimiento “como de interés para el público” a su trabajo: Romero A.S., E. Merino, G. Gosset, A. Martínez. “Engineering ethanol as a single fermentation product in *Bacillus subtilis*”. 106th General Meeting. Orlando, FL, USA. 21-25 de mayo de 2006.

- 6.4. Apoyo para transporte otorgado a Gerardo Huerta Beristáin (Corporate Activities Program Student Travel Award) en reconocimiento a su resumen del trabajo: Huerta-Beristáin G., F. Bolívar, G. Gosset, A. Martínez. "Role of reducing power and precursors from the pentose phosphate pathway in the metabolic burden effect in *Escherichia coli*". 106th General Meeting. Orlando, FL, USA. 21-25 de mayo de 2006.

7. Aplicación de patentes

- 7.1. Alfredo Martínez Jiménez, Guillermo Gosset Lagarda, Georgina Teresa Hernández Chávez, Gerardo Huerta Beristáin, Berenice Trujillo Martínez, José Utrilla Carreri. "Cepas de *Escherichia coli* modificadas por ingeniería metabólica para la producción de compuestos químicos a partir de lignocelulosa hidrolizada, pentosas, hexosas u otras fuentes de carbono". Patente sometida el 7 de agosto de 2009 al Instituto Mexicano de Protección Industrial. Expediente: MX/a/2009/008453; Folio: MXEX/2009/050826.
- 7.2. Alfredo Martínez Jiménez, Guillermo Gosset Lagarda, Georgina Teresa Hernández Chávez, Gerardo Huerta Beristáin, Berenice Trujillo Martínez, José Utrilla Carreri. "Cepas de *Escherichia coli* modificadas por ingeniería metabólica para la producción de compuestos químicos a partir de lignocelulosa hidrolizada, pentosas, hexosas u otras fuentes de carbono". Solicitud Internacional PCT sometida el 6 de agosto de 2010. Solicitud Internacional No. PCT/MX 2010/000075.

Campo técnico de la PCT

La presente invención se refiere a nuevas cepas de *Escherichia coli* denominadas JU15, JU15A, LL26, MS04, depositadas en el Agricultural Research Service (ARS) Patent Culture Collection (NRRL), del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, con los números de acceso NRRL B-50140, NRRL B-50137, NRRL B-50139 y NRRL B-50138, y derivadas que producen metabolitos, particularmente D-Lactato, L-Lactato e inclusive etanol, con un alto rendimiento y alta selectividad a partir de una amplia variedad de fuentes de carbono. Particularmente, medios formulados con hidrolizados de fibras vegetales, como el bagazo de caña, agave y pastos, además de una amplia variedad de residuos agroindustriales, como el suero de leche o desechos forestales, celulosa, pastos, bagazo de agave, papel de desecho, viruta y aserrín, arbustos y en general cualquier material derivado de lignocelulosa, así como glicerol proveniente de la industria del biodiesel y de azúcares derivados del almidón y de la sacarosa, los cuales, mediante el uso de las cepas de *E. coli* antes referidas, se usan en la producción del metabolito de interés (particularmente D-lactato, L-lactato o etanol) como única vía de regeneración del poder reductor del microorganismo. También se refiere a los métodos fermentativos para producir dichos metabolitos a partir de medios con fuentes de carbono diversas, incluyendo glucosa, lactosa o xilosa.

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

El trabajo realizado permitió realizar varias contribuciones al conocimiento en el área de la ingeniería metabólica aplicada a la generación de etanol a partir de residuos agroindustriales. Consideramos que gran parte de los resultados obtenidos en este proyecto pueden ser implementados para tratar de establecer un proyecto que incluya transferencia de tecnología. Sin embargo, tienen que considerarse varios aspectos que aseguren el posible éxito en la transferencia. La idea de producir etanol a partir de residuos agroindustriales, en principio, es adecuada para México, ya que se evita la competencia directa con el uso de alimentos para producir biocombustibles. Sin embargo, la cantidad de material requerido (lignocelulosa) para poder producir una cantidad considerable de etanol carburante merece un análisis profundo para cada región del país.

Así mismo, es necesario desarrollar ingeniería de equipos y mejoras biotecnológicas a las etapas de hidrólisis termoquímica de hemicelulosa y de sacarificación de la celulosa. También, la cantidad de agua usada en todo el proceso, así como el potencial ciclo de vida de un proyecto de este tipo, deben ser analizados por regiones del país antes de iniciar



una posible transferencia. Lo que consideramos conveniente es, junto con algunas dependencias gubernamentales (p. ej. la SENER y la SAGARPA) y compañías interesadas en el proyecto, llevar a cabo estos estudios, incluyendo también uno de factibilidad técnico-económica con el fin de determinar qué estrategias seguir para proveer de herramientas que aseguren el éxito del proyecto. En 2010, la compañía PETRAMIN SA de CV, de Guanajuato, atendió esta sugerencia y actualmente tenemos un proyecto conjunto de un año para “Desarrollo de Fundamentos para el Escalamiento del Proceso de Producción de Etanol de Segunda Generación”.



SISTEMAS PARA LA CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN COMUNIDADES RURALES DEL NORTE DEL ESTADO DE MORELOS¹

S. Garrido,² M. Avilés, A. Ramírez, A. González, L.A. Barrera, L. Montellano, R.M. Ramírez, O. Cervantes y Guillermo Reza Arzate

Resumen

En la zona norte del estado de Morelos se tienen serios problemas para el abastecimiento de agua para uso y consumo humano, derivados principalmente de las condiciones geográficas y del subsuelo que predominan en la zona, el cual está constituido por materiales permeables, donde la precipitación pluvial se infiltra a profundidades de 500 metros, lo que hace muy difícil y costosa la extracción del vital líquido. El objetivo de este trabajo fue mejorar en cantidad y calidad el agua de lluvia que abastece a dos comunidades situadas al norte del estado de Morelos. En la localidad de Jumiltepec, (Ocuituco), se diseñó y desarrolló un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia, captada del techo de la iglesia de la comunidad. Para el sistema colectivo se seleccionó, diseñó, desarrolló y evaluó un sistema de tratamiento de filtración en múltiples etapas modificada (FIMEM) para el tratamiento del agua de las ollas de la localidad, Villa Nicolás Zapata, municipio de Totolapan. Las eficiencias obtenidas en el sistema de tratamiento fueron: color y turbiedad >90%. El agua obtenida cumple con la NOM-127-SSA1-1994.



¹ Proyecto FOMIX: MOR-2003-C01-9615, Monto aprobado y total: \$598,290.00

² Del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)

► Palabras claves

Precipitación pluvial, agua para consumo humano en comunidades rurales, captación de agua de lluvia, tratamiento.

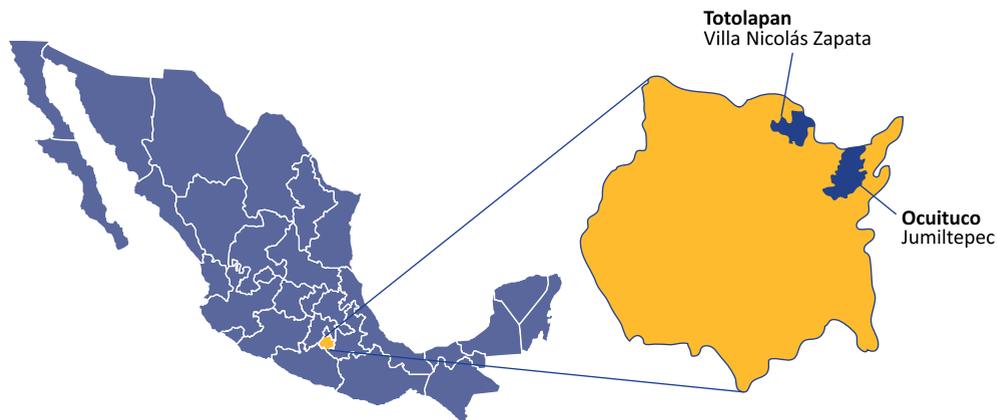
► Introducción

En México, se ha dado una gran atención a las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, sin embargo, poca atención se le da a la utilización de agua de lluvia como fuente primaria. Existen 15 millones de habitantes ubicados en comunidades rurales pequeñas, aisladas, que no tienen acceso al agua potable y alcantarillado. De aquéllos, 79% se concentra en 12 estados: Veracruz, México, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Puebla, Jalisco, Michoacán, Tabasco, San Luis Potosí, Guanajuato e Hidalgo.

El territorio nacional presenta una baja disponibilidad natural media per cápita, la cual ha disminuido de 18,035 m³/hab/año en 1950 a tan sólo 4,312 en 2007. De acuerdo con las Naciones Unidas, México se encuentra en el lugar 94 a nivel mundial en disponibilidad natural del agua (CONAGUA, 2007).

La precipitación acumulada ocurrida en la República Mexicana del 1 de enero al 31 de diciembre del año 2007 alcanzó una lámina de 812.2 mm, lo cual fue 6.9% superior a la normal del periodo de 1971 a 2000 (759.6 mm). En todo el territorio nacional se tiene

Figura 1. Estado de Morelos, municipios con estudio de casos



un promedio anual de precipitaciones de 1,488 miles de millones de metros cúbicos (CONAGUA, 2007); si sólo se aprovechara 3% de esa cantidad, se podría abastecer a 13 millones de mexicanos que actualmente no cuentan con agua potable, dar dos riegos de auxilio a 18 millones de hectáreas de temporal, abastecer a 50 millones de unidades animal y regar 100 mil hectáreas de invernadero (Anaya, 2004).

Una de las tecnologías alternativas para mejorar la calidad del agua de lluvia rodada es el sistema de filtración en múltiple etapas (FIME), concepto que implica más de una fase de tratamiento con una serie de filtros de grava de flujo ascendente o descendente de trabajo y una o dos unidades de filtros lentos de arena. Estas etapas progresivamente eliminan los contaminantes, con lo que se produce un agua para uso y consumo humano, con criterios de continuidad, cantidad y calidad a un costo que es manejable para las comunidades rurales. Cada una de estas etapas puede variar respecto a sus mecanismos de eliminación de contaminantes y la eficiencia (Galvis *et al.*, 1998).

Debido a la disminución de la calidad del agua de lluvia rodada al tener contacto con el suelo o con el agua de pequeños arroyos, con un alto contenido de turbiedad, color, algas y microorganismos patógenos (Heijnen, 2001), se han tenido que realizar modificaciones al proceso y el diseño de las unidades, como la adición de coagulantes químicos, lavado de los filtros de grava y el tanque de contacto con cloro, para obtener un sistema integral modificado, FIMEM (Garrido *et al.*, 2008).

Diferentes alternativas de FIME han sido utilizadas por algunos investigadores: Ingallinella (1991) en Argentina y Wegelin *et al.* (1996) en Bolivia, estudiaron el coagulante sulfato de aluminio en combinación con prefiltro de grava de flujo ascendente, en el tratamiento del agua de una fuente de un pequeño arroyo de abastecimiento de agua para consumo humano, indicando las variaciones de turbiedad entre 150 y 1.300 UT.

Magalhães *et al.* (2001) estudiaron en una instalación piloto la aplicación del coagulante en el tratamiento del agua. El sistema consiste en una unidad de mezcla rápida, dos unidades de prefiltración ascendente y tres filtros lentos de arena, con las siguientes configuraciones: el primero por un prefiltro de grava seguido de un filtro lento; el segundo, por la adición del coagulante combinado con el filtro de grava; y la tercera, sólo con filtro lento de arena, como proceso de unidad que sirve para comparación con las dos configuraciones anteriores. Los filtros fueron operados con diferentes tasas de filtración, las tasas de los prefiltros de grava fueron de 12 a $96 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($0,5 \text{ m h}^{-1}$ - 4 m h^{-1}) y para el filtro lento de arena fue de $3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($0,125 \text{ m h}^{-1}$). El aumento de la tasa de filtración disminuyó la eficacia del tratamiento expresado como turbidez hasta 63,6% para la primera configuración sin coagulante, mientras que para la combinación coagulante y pre-filtro aumento la eficiencia en la remoción de turbiedad hasta 90,3%.

El objetivo de este proyecto fue mejorar en cantidad y calidad el agua de lluvia que abastece a dos comunidades situadas al norte del estado de Morelos, por medio del desarrollo e implementación de los sistemas de captación y tratamiento de agua de lluvia.

► Zona de estudio

Los estudios de caso se realizaron en el periodo 2004-2006 en las localidades de Jumiltepec, municipio de Ocuiltepec y Villa Nicolás Zapata, municipio de Totolapan, Morelos (Figura 1), comunidades que se encuentran situadas en la cuenca del Amacuzac, donde la gestión del agua se limita a la compra de agua de pipas en la época de estiaje y la captación y almacenamiento del agua de lluvia.

El criterio de selección de las dos comunidades en estudio fue con base en un diagnóstico poblacional, socioeconómico, infraestructura hidráulica y participación social, producto de la información existente y visitas realizadas a 18 comunidades situadas al norte del estado de Morelos, con una escasez importante de agua para uso y consumo humano según los indicadores que se muestran en la Tabla 1 (INEGI, 2000, CEAMA, 2001).

► Metodología

Para el caso domiciliario, se diseñó y desarrolló un sistema de captación, conducción, almacenamiento y tratamiento (filtro de arena-grava) del agua de lluvia captada en el te-

Tabla 1. Resultado del diagnóstico en las comunidades estudiadas

Localidad	Habitantes (año 2000)	Índice de marginación	Precipitación media anual (mm)	Infraestructura hidráulica existente	Sistema de captación	Participación social
Jumiltepec (Ocuiltepec)	3,704	Medio (-0.664)	1,110	Fuente de abastecimiento: pozo profundo y manantial. Dos cárcamos de bombeo y dos tanques de almacenamiento de 100 m ³ c/u. Cloración no existe. Redes de conducción y distribución en regular estado, 35 años.	Domiciliario	Excelente
Villa Nicolás Zapata (Totolapan)	293	Alto (-0.153)	1,150	No existe sistema de agua potable ni alcantarillado.	Colectivo	Buena

cho de la iglesia, Sacromonte, ubicada en la localidad de Jumiltepec, municipio de Ocuiltepec. Para el caso colectivo, se diseñó y construyó un sistema de tratamiento de filtración en múltiples etapas modificada (FIMEM) para tratar el agua de las ollas de la localidad, Villa Nicolás Zapata, municipio de Totolapan. Con un almacenamiento en dos ollas de 3,500 m³ y 4,000 m³.

1. Análisis de la calidad del agua de lluvia

Se analizaron dos puntos de muestreo en tres fechas diferentes comprendidas entre noviembre de 2004 y julio de 2005. El primer sitio de muestreo fue el agua captada del techo de la iglesia de Sacromonte, Jumiltepec, y el segundo para el agua de lluvia captada en el sistema colectivo de Villa Nicolás Zapata. Los análisis físico-químicos y microbiológicos se realizaron según las normas mexicanas y métodos Hach.

2. Pruebas de tratabilidad

Estudio de caso Villa Nicolás Zapata. En primer lugar, se realizaron pruebas de tratabilidad a escala laboratorio. Se evaluó la eficiencia del tratamiento por medio de la remoción de turbiedad y color del influente.

- Prueba de jarras: se realizó en jarras de 2 litros para obtener, tipo y dosis de coagulante y pH óptimo para el agua rodada. Los coagulantes escogidos para la prueba de jarras fueron: sulfato de aluminio, cloruro férrico, BUFLOC (poliacrilamida) y PAX (polímero de alto peso molecular).
- Filtración en Múltiples Etapas Modificada (FIMEM). El concepto de FIMEM implica tener más de una etapa de tratamiento. Estas etapas eliminan progresivamente los contaminantes para producir agua para uso y consumo humano con criterios de continuidad, cantidad y calidad a un costo manejable por los usuarios. Cada una de estas etapas puede diferir en los mecanismos y eficiencias en la eliminación de contaminantes (Galvis *et al.*, 1998).

Tabla 2. Parámetros de diseño de las unidades de filtración

Parámetro Características generales	FGDC1	FGAC2	FLA
Velocidad filtración (m h ⁻¹)	0.75	0.75	0.31
Gasto (L d ⁻¹)	115.35	115.35	115.35
Área superficial (m ²)	0.0064	0.0064	0.0154
Profundidad del lecho (m)	0.9	0.9	0.67

Tabla 3. Granulometría de las unidades de filtros			
Diámetro (mm)	Altura (m) FGDC1	FGAC2	FLA
19-25	0.30 ¹		
13-19	0.15 ¹	0.15 ¹	
6.3-13	0.45 ¹	0.15 ¹	0.05 ¹
3.36-6.3		0.15 ²	0.05 ²
1.68-3.36		0.45 ³	0.07 ³
0.425-0.28			0.50 ^{3*}
Soporte	0.30	0.30	0.17
Lecho Filtrante	0.60	0.60	0.50

¹Grava, TE: 6.2 mm; ²Gravilla; TE: 1.2 mm; ³Arena; ^{3*}TE: 0.23 mm.

Se adoptaron dos unidades de filtros gruesos en serie: el primero de flujo descendente en capas, FGDC1, y el segundo de flujo ascendente en capas, FGAC2, y una unidad de filtro lento de arena, FLA (Figura 2). Los parámetros de diseño se muestran en la Tabla 2 y la granulometría de los medios de los filtros se muestran en la Tabla 3.

En general, el filtro FGDC1 se operó como floculador de lecho de grava, descendente, eliminando el material más pesado o de mayor tamaño y sólidos suspendidos; gradualmente, se va avanzando en el filtro FGAC2 en la eliminación de sólidos más pequeños y, por último, en el filtro FLA se puede incluir la eliminación de los microorganismos para finalizar en la desinfección.

El proceso de coagulación y floculación se efectúa en el FGDC1. La mezcla rápida se realizó con un gradiente de velocidad (G) de 209.5 s⁻¹ y tiempo nominal de 2.4 min. Para la floculación de lecho de grava el gradiente de velocidad (G) y tiempo nominal de: 4.805 s⁻¹, 70 min, respectivamente.

► Resultados y discusión

1. Calidad del agua

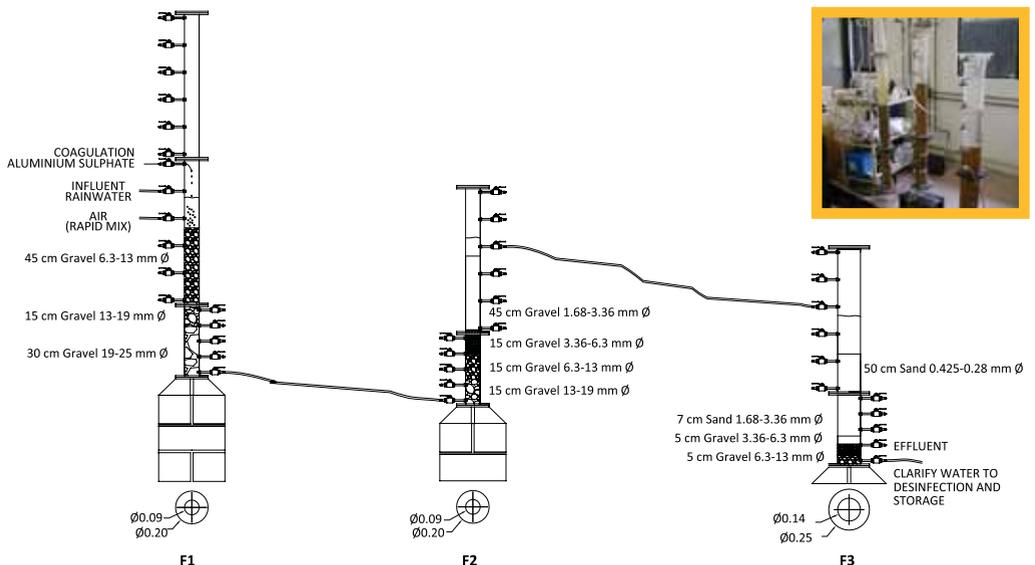
En la Tabla 4 se muestra la caracterización del agua cruda de lluvia para los sistemas domiciliario, colectivo y agua tratada.

Con respecto a la calidad de agua de lluvia a nivel domiciliario, en general es buena, cumple con la NOM-127-SSA1-1994, a excepción de la turbiedad, pH y coliformes que se presentan debido a las condiciones inadecuadas de conducción, almacenamiento y ausencia de tratamiento del agua.

Tabla 4. Caracterización del agua de lluvia cruda y tratada

Parámetros	Jumiltepec Domiciliario Iglesia	Villa Nicolás Zapata (colectivo)		NOM-127- SSA1-1994
		Agua cruda (min-max)	Agua tratada	
Físicos				
Color verdadero (UPT-Co)	7.5	125 - 15	0.16	20
Turbiedad (UTN)	30	180 - 23.8	5.20	5
Sólidos suspendidos totales (mg L ⁻¹)	1.5	44 - 13		
Químicos				
pH	6.17	6.86 - 6.63	7.04	6.5-8.5
Aluminio (mg L ⁻¹)	0.11	2.72 - 0.61	0.14	0.2
Carbono orgánico total (mg L ⁻¹)	3.58	4.07 - 3.76		
Hierro (mg L ⁻¹)	0.05	3.75 - 0.2	0.05	0.3
N-NH3 (mg L ⁻¹)	0.17	0.45 - 0.13		0.5
Microbiológicos				
Coliformes totales (NMP 100 mL ⁻¹)	4.95 102	13 - <2	Ausencia	2
Coliformes fecales (NMP 100 mL ⁻¹)	3.91 102	4 - <2	Ausencia	0

Figura 2. Sistema de filtración en múltiples etapas modificada (FIMEM) a escala laboratorio



Como se observa en la Tabla 4, los rangos de los parámetros del agua cruda para el sistema colectivo son altos, los cuales dependen de la época de estiaje o de lluvias. De acuerdo con varios autores (Cleasby, 1991; Spencer *et al.*, 1991), turbiedades mayores a 120 UTN y color verdadero de 25 UPt-Co, el agua es apta para ser tratada mediante el sistema de filtración FIMEM.

2. Estudio de caso: Jumiltepec

El sistema de captación, tratamiento y almacenamiento de agua de lluvia se construyó en la iglesia del Sacromonte (Figura 3). El sistema está conformado por: 1. Área de captación de 225 m²; 2. Conducción de agua de lluvia por una tubería de 4"; 3. Desinfección en línea con hipoclorito de sodio; 4. Filtración en lecho de grava, gravilla y arena, cuya granulometría va desde un diámetro mayor a 65 mm hasta 0.28 mm, y una altura de 0.6 m; 5. Almacenamiento, se instaló una geomembrana de PVC, 1.2 mm de grosor, calidad para uso y consumo humano, con su correspondiente tapa. La capacidad de almacenamiento es de 228 m³.

La instalación de este sistema proveerá agua de alta calidad, con un consumo de energía y costos muy bajos, a la familia conformada por siete personas que habitan junto a la iglesia y para los servicios necesarios para la iglesia y feligreses, durante los meses de estiaje.

La colaboración por parte de los miembros que conforman el Comité Parroquial de Jumiltepec ha sido fundamental para el buen desarrollo de este proyecto; como beneficiarios han aportado la mano de obra y en la compra de algunos materiales locales. En menor medida ha colaborado el gobierno municipal de Jumiltepec, Ocuituco.

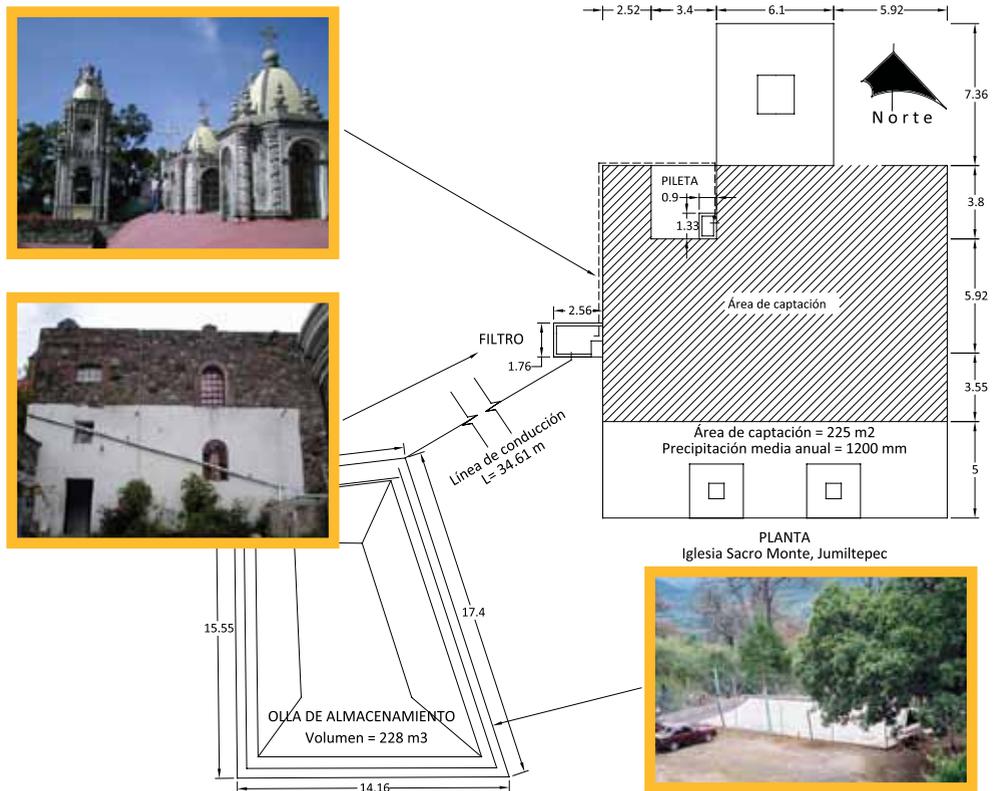
3. Estudio de caso: Villa Nicolás Zapata

Prueba de jarras

El coagulante que dio mejor resultado fue el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ a 1%, con una dosis de 30 mg L⁻¹, con un pH de 9.1 ajustado con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 1N. El gradiente de velocidad y tiempo de agitación utilizados fueron: mezcla rápida 300 rpm, 15s; floculación 40 rpm, 20 min; sedimentación 15 min.

El potencial eléctrico (potencial Zeta) medido en la mezcla rápida fue de 1.5 mV ± 0.5, lo cual demuestra una buena coagulación. Eckenfelder (1989) recomienda un potencial Z entre -0.5 a +1.5 mV. La eficiencia del tratamiento se determinó mediante los porcentajes de eliminación de turbiedad y color aparente que fue para ambos casos de 97.96%. Se obtuvo un efluente con un pH de 6.77 y concentraciones finales de Al y Fe de 0.14 y 0.05 m L⁻¹, respectivamente.

Figura 3. Sistema a nivel domiciliario de agua de lluvia, Jumiltepec



Filtración en Múltiples Etapas Modificado (FIMEM)

El sistema de filtración se evaluó de la siguiente manera:

- Sin adición de coagulante.
- Adición de $Al_2(SO_4)_3$ según las condiciones óptimas establecidas en la prueba de jarras.

Tabla 5. Calidad del efluente y eficiencia del tratamiento

Parámetro	Agua cruda	FGDC1-FGAC2	FLA	Porcentaje de eliminación (%)
Color aparente (UPT-Co)	1253	963	977	22.03
Turbiedad (UTN)	187	166	151	19.25
pH	6.36	7.45	7.02	-

Evaluación del proceso sin coagulante

Para evaluar el sistema se tomaron como base tres parámetros de control de fácil manejo que son color, turbiedad y pH. Los valores promedio de la calidad del agua en el efluente se presentan en la Tabla 6. La duración de la carrera de filtración fue de 30 horas. Como se observa en la Tabla 5, los porcentajes de eliminación del color aparente y la turbiedad de tipo coloidal (tamaño de partículas 2–10 μm) están por debajo de 23%, razón por la cual se consideró necesaria aplicar coagulante para aumentar la eficiencia del tratamiento y mejorar la calidad del agua.

Evaluación del proceso aplicando coagulante

Debido a la baja calidad del agua (Tabla 5) se recomienda la aplicación de coagulante, para prevenir la colmatación de los lechos de arena o ambientes desfavorables para la actividad microbiológica (Galvis *et al.*, 1998).

Se realizaron seis experimentos de los cuales se describe el que se llevó a cabo el día 2 de marzo de 2005, con una carrera de filtración de 127 horas. Como se aprecia en la Figura 4, la turbiedad final en el efluente fue de 5.20 UTN, el color verdadero final de 0.16 UPt-Co y un pH de 7.27, a las 127 h. Se obtuvo una eficiencia de eliminación para la turbiedad de 94.5% y para el color verdadero de 93.3% con los que se asegura una

Figura 4. Comportamiento de la turbiedad, en el proceso de filtración

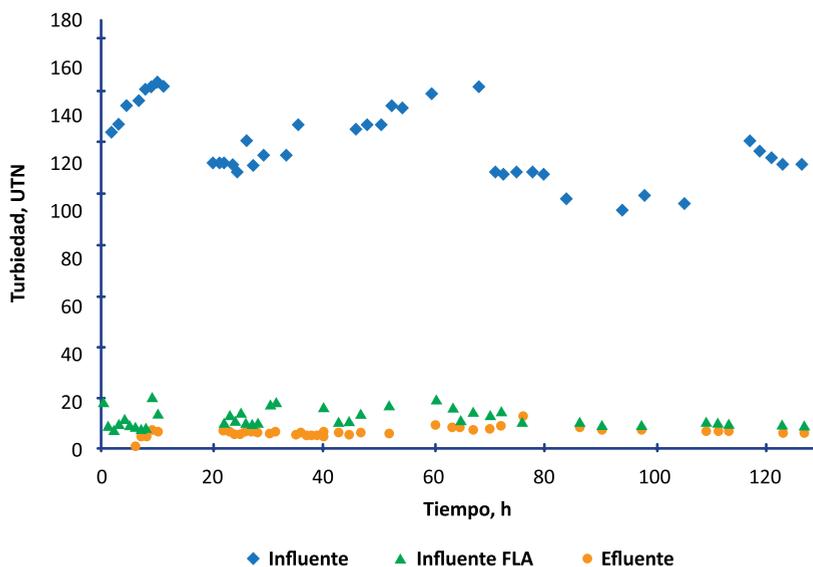


Figura 5. Diagrama de flujo del sistema FIMEM, Villa Nicolás Zapata, Morelos

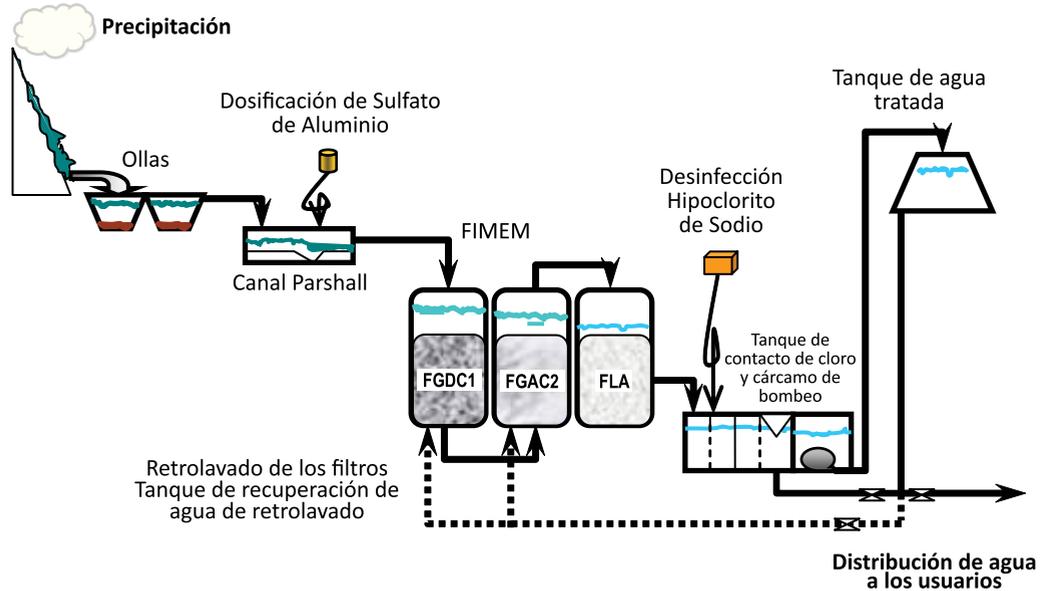
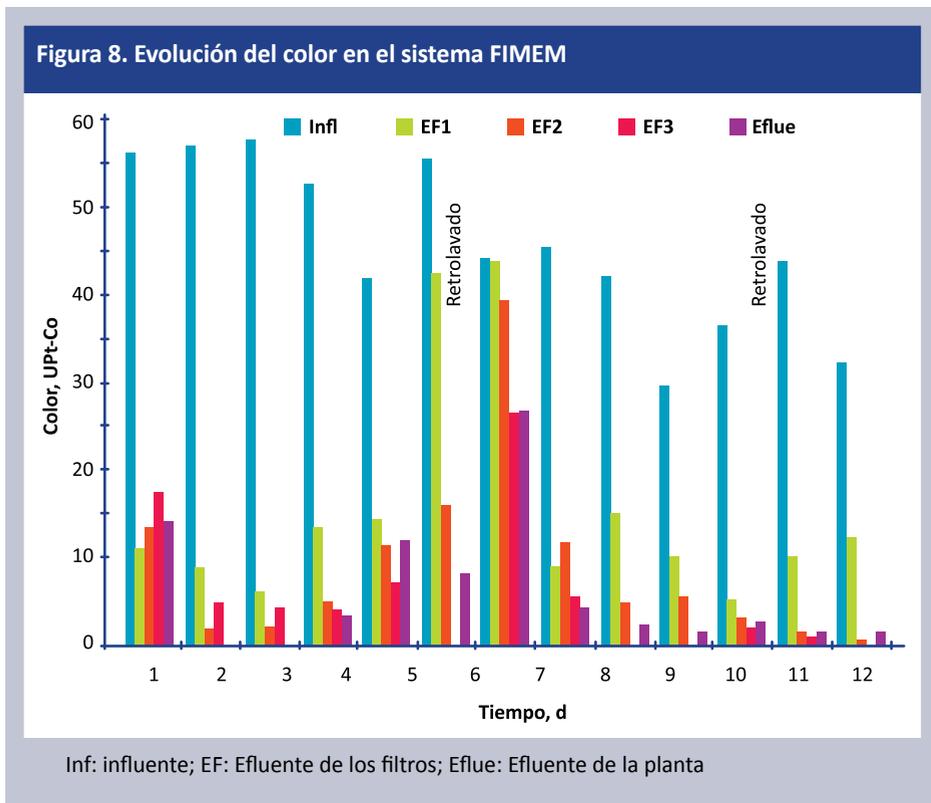


Figura 6. Planta potabilizadora de filtración en múltiples etapas modificada. Villa Nicolás Zapata, Morelos



Figura 7. Canal Parshall



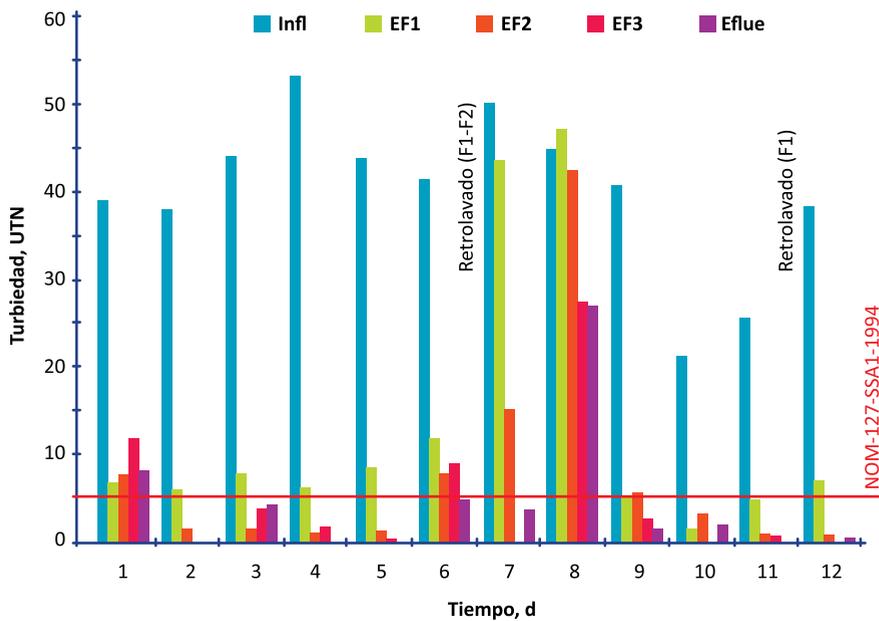


calidad de agua buena antes de ser desinfectada. Con respecto a la concentración de Fe y Al en el efluente, fue de 0.05 mg L^{-1} y 0.14 mg L^{-1} , el porcentaje de eliminación fue de 94.3% y 68.54% respectivamente.

La materia orgánica disuelta o sustancias húmicas asociadas con la eliminación de color es reportada normalmente como baja para aguas de este tipo, del orden de 25 al 30% (Cleasby *et al.*, 1984; Collins *et al.*, 1991). Para este caso se tiene una concentración en el efluente de 1.90 mg L^{-1} , lo que no presenta un riesgo potencial de tipo crónico con los subproductos de la desinfección del cloro en presencia de este tipo de materia orgánica. Cabe destacar que es necesario tener niveles mínimos de materia orgánica y nutrientes (C, N, P y S) para tratar mejor otros indicadores de calidad del agua.

La pérdida de carga total a través de los lechos de los filtros fue de 0.74 m , donde la mayor carga se presentó para el FLA con 0.40 m , lo cual debe tenerse en cuenta para el diseño de los filtros. Se realizó el retrolavado para el filtro FGDC1, de forma ascendente con una tasa de retrolavado 39.6 m h^{-1} y un tiempo de 5 minutos.

Figura 9. Evolución de la turbiedad en el sistema FIMEM



Inf: influente; EF: Efluente de los filtros; Eflue: Efluente de la planta

► Proyecto ejecutivo

Con los resultados de las pruebas de tratabilidad, estudios topográficos y geotécnicos de la zona de estudio, se desarrolló el proyecto ejecutivo del sistema FIMEM para la construcción, en la localidad de Villa Nicolás Zapata, con una dotación de $50 \text{ L hab.}^{-1} \text{ d}^{-1}$ y un caudal de 0.53 L s^{-1} .

En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo del sistema FIMEM, donde se observa la captación, almacenamiento de agua de lluvia rodada, tratamiento del agua, así como el almacenamiento y distribución del agua tratada para los usuarios. En las Figuras 6 y 7 se muestra la planta FIMEM.

1. Evaluación del Sistema Fimem en Villa Nicolás Zapata

Una vez que la planta empezó a operarse, se evaluó la eficiencia del sistema. Se obtuvieron eficiencias de remoción de turbiedad de 98% y de color de 96.33% (Figuras 8

y 9); y pH de 6.5; ausencia de coliformes totales y fecales y cloro residual de 0.25 mg L⁻¹. Tiempo de retrolavado de 5 min. El agua tratada cumple con la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994, para uso y consumo humano.

Para este caso en particular, el costo del tratamiento es de \$3.88/m³, incluyendo el salario del operador, mientras que el costo del agua repartida en pipas es de \$80.00/m³.

Agradecimientos: Este proyecto ha sido financiado por el Fondo Mixto CONACYT- Gobierno del Estado de Morelos: MOR-2003-C01-9615. Y por su colaboración a los municipios de Totolapan y Ocuituco, Morelos.

► Conclusiones

- El agua de lluvia es una excelente solución alternativa en el abastecimiento de agua para uso y consumo humano, en zonas donde no existen o son muy deficientes los sistemas de abastecimiento convencionales.
- La captación de agua de lluvia es una práctica común en los municipios de la zona norte del estado de Morelos; sin embargo, su uso no es muy ordenado, no existiendo las etapas de planeación, diseño, construcción y mantenimiento.
- La tecnología de filtración en múltiples etapas modificada (FIMEM) es apta para tratar agua de lluvia rodada, obteniéndose un efluente con una calidad de agua que cumple con la NOM-127-SSA1-1994.
- Desde el punto de vista financiero, con los proyectos de captación y tratamiento –FIMEM– de agua de lluvia, son mayores los beneficios que los costos debido a su bajo mantenimiento y operación.
- Se requieren programas a mediano y largo plazos, que permitan implementar la captación de agua de lluvia con apoyos técnicos y económicos (costos compartidos).

► Bibliografía

Anaya, G.M. (2004). *Manual de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe*; IICA. México, Ed. Colegio de Posgraduados, Montecillo.

CEAMA, Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente de Morelos (2001). “Diagnóstico e inventario de la infraestructura y los servicios hidráulicos en las localidades rurales de 16 municipios del Estado de Morelos”. Servicios de Ingeniería e Informática. Documento Interno.

Cleasby, J. L., Hilmoie, D.J. and Dimitracopoulus, C.J. (1984). “Slow sand and direct in-line filtration in surface water”. *Journal AWWA*. 76(12):44-55.

Cleasby, J. L. (1991). "Source water quality and pretreatment options for slow sand filters". Chapter 3 in: New York, Ed. American Society of Civil Engineering, ASCE.

Collins, M. R., Eighmy, T. T., Fenstermacher, J. M. and Spanos, S. K., (1991). "Removal of natural organic matter by conventional slow sand filtration". *Journal of AWWA*, 84 (5), 80-90.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2007). *Estadísticas del agua en México*. México. 141 pp.

Eckenfelder, W. W., Jr. (1989). *Industrial pollution control*. 2ª. Ed. New York, McGraw-Hill.

Galvis, G., Latorre, J., Visscher, J. T. (1998). *Multi-Stage Filtration: An Innovative Water Treatment Technology*. IRC, The Hague, The Netherlands and CINARA. Cali, Ed. Artes Gráficas de Univalle.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000). Anuario estadístico del Estado de Morelos. En: <http://INEGI.com.mx>

Ingallinella, A.M. (1991). "Experiencias con pretratamientos". Seminario Internacional sobre Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano. Cali, Colombia.

Lo, A. (2003). "Usos Múltiples de la captación de agua de lluvia para combatir problemas de escasez de agua". *Memoria de la XI Conferencia Internacional Sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia*. IRCSA. Montecillo, México.

Macomber, P.S.H. (2001). *Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii, College of tropical Agriculture and Human Resources*. University of Hawaii at Manoa.

Magalhães R.P., Cezar M., Brandão C.C. (2001). "Aplicabilidade de pré-filtração ascendente em pedregulho com coagulação química, como pré-tratamento para a filtração lenta de águas com presença de algas". In *Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa*. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

Secretaría de Salud (1996). "Norma Oficial Mexicana NOM. 127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización". México, Secretaría de Salud, *Diario Oficial de la Federación*, pp. 41 – 46

Spencer, C. y Collins, M. (1991). "Water quality limitations to the slow sand filters". *Slow sand filtration Workshop*, 27-30 October, 1991, Durham, USA.

Servicio Meteorológico Nacional (2003). *Datos estadísticos de precipitación pluvial en México*.

Wegelin, M., Ingallinella, A.M. y Steeca, L.M. (1996). "Filtración gruesa ascendente en manto de grava - rehabilitación de la etapa previa a los filtros lentos de la planta potabilizadora de Tarata, Bolivia". Conferencia Internacional Mejoramiento de la Calidad del Agua. Cali, Colombia.

Zhu Q. (2003). "La cosecha de lluvia es un enfoque de desarrollo integrado para áreas montañosas con escasez de agua". *Memoria de la XI Conferencia Internacional Sobre Sistemas de Captación de Agua de lluvia*. IRCSA. Montecillos, México.





NAYARIT

EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE CEPAS BACTERIANAS ENTOMOPATÓGENAS NAYARITAS PARA EL DESARROLLO DE UN BIOINSECTICIDA CONTRA EL GUSANO TELARAÑERO DEL AGUACATE¹

Dra. Ninfa María Rosas García²

► Introducción

México es el primer productor de aguacate en el mundo. En 2001 produjo 902,500 toneladas con un área cultivada de 94,011 has., y un rendimiento de 9599.9 Kg/ha. El 80% del aguacate se cultiva en la región de Uruapan en el estado de Michoacán (INEGI, 2003); sin embargo, Nayarit se contempla como el segundo estado productor a nivel nacional. En todo el país son 29 estados los que se dedican a la producción del aguacate (SAGAR, 1996), pero la explotación de aguacate a nivel comercial se practica sólo en 16 estados entre los que se encuentran Michoacán, Nayarit, Puebla, Chiapas, Estado de México, Veracruz, Jalisco, Morelos, Guanajuato, Guerrero y Sinaloa, entre otros (Martínez, 1997).

El cultivo del aguacate es atacado por una gran cantidad de insectos lepidópteros, entre los que sobresale *Argyrotaenia sp.* en el estado de Nayarit, que causan daños de consideración si no se les controla oportuna y adecuadamente. Los daños se manifiestan

¹ Proyecto FOMIX: NAY-2003-C01-9452

Monto aprobado y total: 381,092.00

² Del Laboratorio de Biotecnología Ambiental del Centro de Biotecnología Genómica-IPN.



en la planta, con baja calidad de frutos y pérdidas en la producción. Especialmente, las larvas de estos insectos tienden a alimentarse de las hojas, pero cuando las larvas crecen prefieren alimentarse de los frutos, los cuales se dañan cuando se atan junto con la telaraña.

El tipo de daño que causan los insectos es variado, ya que enrollan las hojas, se alimentan del follaje de las ramas verdes y de la base terminal de las ramas tiernas. Causan cicatrices en el tallo de la fruta que normalmente presenta agujeros profundos, provocando la caída del fruto (Ebeling y Pence, 1957).

Esta plaga ha sido controlada básicamente por compuestos químicos sintéticos. El control biológico no ha sido utilizado para el control de esta plaga (García-Morales *et al.*, 1999). Sin embargo, debe considerarse como alternativa fundamental, para la disminución de esta plaga, ya que de acuerdo con las legislaciones en la materia, el fruto no es aceptado con residuos químicos al ser un producto de exportación. A la fecha, no existen reportes del uso de alguna alternativa de control biológico para disminuir la población plaga que ataca a este cultivo. El gran número de especies dentro del orden *Lepidoptera*, susceptibles a la bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis*, hace posible proponer estrategias de control contra *Argyrotaenia sp.* Entre las múltiples ventajas que presenta *B. thuringiensis* como bioinsecticida, está su incapacidad para ocasionar daños al ambiente, al humano o a otros organismos vivos, debido a su alta especificidad. Esta bacteria es ubicua en el ambiente y se encuentra distribuida ampliamente en todo el mundo, debido principalmente a su capacidad esporulante; asimismo, sintetiza inclusiones parasporales con actividad insecticida denominadas cristales *Cry*. Los cristales *Cry1*, producidos por los genes *cry1* particularmente tienen un efecto letal sobre numerosas larvas de lepidópteros, al igual que los productos derivados de los genes *cry2* y *cry9* (Iriarte y Caballero, 2001; Ben-dov *et al.*, 1999).

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

La demanda que atiende el proyecto en el estado de Nayarit es el control de plagas en el cultivo de aguacate en las zonas productoras de dicho estado, para mejorar su producción y aumentar su exportación.

► Objetivo general

Aislamiento y selección de cepas bacterianas entomopatógenas con actividad contra el gusano telarañero del aguacate para el desarrollo de un formulado efectivo que pueda aplicarse a nivel de campo.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

Este estudio consistió en la obtención de aislados de *Bacillus thuringiensis*, preseleccionados para su uso potencial mediante su contenido de genes *cry1*, *2* y *9*, para ser utilizados específicamente hacia *Argyrotaenia sp.* que es un lepidóptero importante y una plaga actual de las zonas aguacateras, que ocasiona daños en la producción y calidad del fruto ocasionando pérdidas económicas considerables. La evaluación de la toxicidad fue el análisis que determinó la selección de cepas de *B. thuringiensis* para su propagación a nivel de fermentador y la posterior elaboración de un producto formulado con ingredientes completamente biodegradables, factible de aplicar en campo y útil como alternativa para el control de este lepidóptero y, con ello, favorecer al medio ambiente al reducir el uso de insecticidas químicos.

Para desarrollar este proyecto, se realizó la siguiente metodología:

1. Obtención de bacterias entomopatógenas a partir de muestras de suelo de cultivos de aguacate.
2. Aislamiento de las colonias bacterianas en medio de cultivo artificial.
3. Análisis macroscópico y microscópico de las colonias bacterianas obtenidas.
4. Establecimiento de la colonia de insectos a nivel de laboratorio a partir de individuos provenientes de campo.
5. Detección de genes *cry 1*, *2* y *9* con actividad tóxica hacia lepidópteros mediante la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa.
6. Selección de cepas de acuerdo con el contenido de genes *cry*.
7. Producción del complejo esporas-cristal de las cepas seleccionadas mediante la técnica de co-precipitación lactosa-acetona.
8. Bioensayos de toxicidad contra larvas de *Argyrotaenia sp.*, en laboratorio en dieta artificial.
9. Preparación de formulaciones granulares con ingredientes naturales para bioensayos de preferencia alimenticia (sin ingrediente activo) en larvas neonatas.
10. Bioensayo de preferencia alimenticia para determinar la mezcla más apetecible al insecto.
11. Evaluación del formulado a nivel de campo en cultivos de aguacate con infestación natural y análisis estadístico de acuerdo a los siguientes esquemas:

La aplicación se realizó con aspersoras de mochila. Se mezcló cada una de las concentraciones de los formulados en la aspersora, conteniendo agua corriente, y se dejó reposar por 10 minutos; después, se agitó para su aplicación.



Cada árbol fue marcado con la concentración aplicada y el número correspondiente, y se realizó la aplicación.



La aplicación se realizó a la mitad de la altura del árbol hacia abajo, ya que la plaga se detectó en esa área.

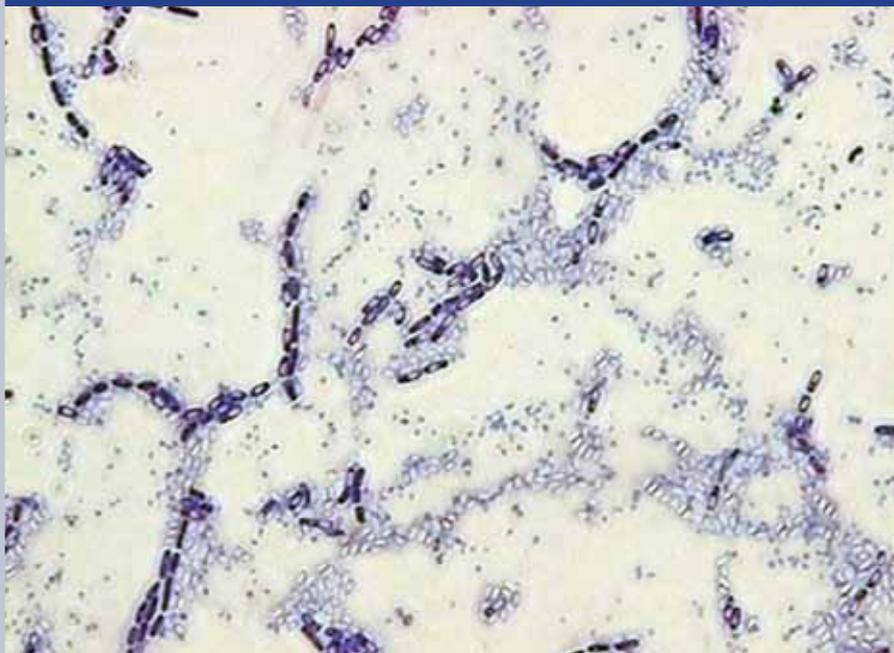


► Resultados

La colecta de muestras de suelo se realizó durante el periodo de julio a octubre de 2004, en dos localidades del estado de Nayarit –Aquiles Serdán y San José de Costilla–, y debido a la baja población obtenida, también se hicieron aislamientos en el estado de Michoacán, en la localidad de Tancitaro. La colección de *B. thuringiensis* aisladas de Michoacán y Nayarit fue de 37 en total, mantenidas en el cepario del Laboratorio de Biotecnología Ambiental del Centro de Biotecnología Genómica (CBG), en Reynosa, Tamaulipas, en condiciones de refrigeración.

Para elaborar la formulación, previamente se evaluó un total de 45 combinaciones de pares de ingredientes naturales (matrices microencapsulantes) apetecibles para el insecto. La matriz utilizada fue elaborada con almidón de maíz, cuya función fue la de servir como soporte y agente encapsulante, hoja de aguacate deshidratada y gelatina porcina como adherente. La formulación se preparó con el complejo espora-cristal de la cepa de referencia 4L1 que fue la que presentó mayor toxicidad hacia *Argyrotaenia*.

Figura 1. Fotografía al microscopio de fluorescencia (100X) de un aislado de *B. thuringiensis*



► Bibliografía

Ben-dov, E., Q. Wang, A. Zaritsky, R. Manasherob, Z. Barak, B. Schneider, A. Khamraev, M. Baizhanov, V. Glupov, and Y. Margalith. 1999. "Multiplex PCR screening to detect *cry9* genes in *Bacillus thuringiensis* strains. Appl. Environ. Microbiol. 65:3714-3716.

Ebeling Walter, Roy J, Pence. 1957. *Avocados pest*. California Avocado Society. Department of entomology, University of California, Los Angeles.

García Morales L. J., Mendoza López. M. R., Coria Avalos V. M., Aguirre Montañés J. L., Sánchez Pérez J. de la L., Vidales Fernández J. A., Tapia Vargas L. M., Hernández Ruiz G., Alcantar Rocillo J.J. 1999. *Tecnología-produce aguacate en Michoacán*. Editores: Martínez R.A.P., Sánchez B.C., Mena J.C., López A. A., Toledo R.B. {Ed.} Fundación Produce Michoacán. Morelia, Michoacán, México. 2, 17-20.

INEGI. 2003. *7 Agropecuario, silvicultura y pesca. México en el Mundo*. Cuadro 7.6.

Tabla 1. Contenido de genes *cry* de las cepas seleccionadas

Cepas	Contenido de genes <i>cry</i>
Michoacán	
MR-18	1, 2, y 9
MR-26	1
MR-28	2
MR-29	1
Nayarit	
MR-1	9
VR-9	9
DL-32	9
4L1 (cepa de referencia)	1, 2 y 9

Iriarte, J., Caballero, P. 2001. "Biología y ecología de *Bacillus thuringiensis*". En: *Bioinsecticidas: fundamentos y aplicaciones de Bacillus thuringiensis en el Control Integrado de Plagas*. Universidad Pública de Navarra. Primitivo Caballero y Juan Ferre (eds). Phytoma. España, pp. 15-44.

Martínez B., R. 1997. "La producción nacional de aguacate y su importancia en el mercado internacional". En: *Memoria del VI Curso de Aprobación Fitosanitaria en el Manejo del Aguacate*. Facultad de Agrobiología. Uruapan, Michoacán.

SAGAR, 1996. Producción agrícola de aguacate Perennes. Centro de Estadística Agropecuaria. p. 1.

► Productos entregados

Los productos entregados fueron una cepa de *B. thuringiensis* altamente tóxica contra *Argyrotaenia*.

► Conclusiones

La cepa de colección 4L1 fue la que demostró ser altamente tóxica a nivel de laboratorio para el telarañero del aguacate. Dicha cepa sirvió como principio activo para la formulación preparada a base de ingredientes completamente biodegradables. El producto es factible de aplicar en campo, ya que su formulación es inocua al ambiente.

► Beneficios obtenidos

- **Generación y avance del conocimiento científico:** Se generó un conocimiento acerca de una nueva especie de un lepidóptero que se encuentra en las zonas aguacateras de Nayarit y Michoacán, afectando el cultivo. De este nuevo conocimiento ha derivado una publicación nacional que está en revisión en la revista *Acta Zoológica Mexicana* para su posible publicación. Asimismo, se generó un nuevo conocimiento en el estudio de este insecto del cual se derivaron un artículo científico publicado en la *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, otro artículo publicado en *Acta Zoológica Mexicana* y otro en el *Journal of Applied Microbiology*.
- **Formación de recursos humanos:** El desarrollo del proyecto permitió la formación de dos alumnos de licenciatura y de un alumno de maestría, los cuales han recibido ya su título correspondiente. Asimismo, durante el desarrollo del proyecto participaron dos alumnos en servicio social, uno en prácticas profesionales y uno en estancia de investigación.
- **Impacto social:** El desarrollo de este proyecto ha repercutido favorablemente en los productores de aguacate que buscan nuevas alternativas de control de insectos. Particularmente, en el estado de Nayarit el Comité Estatal de Sanidad Vegetal participó muy activamente desde los muestreos hasta las aplicaciones de campo, siempre con la intención de mejorar sus cultivos y hacerlos más orgánicos.

Asimismo, el proyecto ha sido difundido a la comunidad en general, pues al observar la importancia y trascendencia del proyecto, la *Revista Conversus* del Instituto Politécnico Nacional nos hizo una entrevista a este respecto y la publicó en 2006. De la misma manera, la Coordinación General de Comunicación Social y Divulgación del Instituto Politécnico Nacional emitió un comunicado de prensa donde divulga el desarrollo de nuestro proyecto. También se publicaron algunas notas en el periódico *El Norte* y *El Universal*, y el Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa nos hizo una entrevista vía telefónica para producir un reportaje de Agroproductos que fue transmitido por el Canal TVC de Cable.

- **Beneficio económico:** La producción del bioinsecticida desarrollado en este proyecto podrá representar un ahorro sustancial en la economía de los productores si deciden aplicarlo, ya que sus componentes son fácilmente asequibles y sumamente económicos, lo que abaratará el costo del producto. Asimismo, el aguacate podrá venderse a un precio más económico, ya que sus costos de producción se verán disminuidos y su rendimiento aumentará.



OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE FRUTAS REGIONALES TROPICALES POR LA TECNOLOGÍA DE MÉTODOS COMBINADOS, AUTOESTABILIZADOS EN EL ENVASE¹

Dr. José Armando Ulloa²

► Introducción

El estado de Nayarit tiene una vocación preponderantemente agrícola, dentro de la cual destaca el sector frutícola. Sin embargo, en la actualidad no existen las condiciones para la transformación de dicha producción en alimentos procesados, en parte por el incipiente desarrollo industrial.

En ese sentido resulta oportuno el desarrollo o innovación de métodos viables de conservación y/o transformación que sean sencillos y económicos, los cuales permitan transformar materias primas frutícolas en productos terminados de calidad aceptable, además de ser de fácil implementación en micro, pequeñas, medianas o grandes empresas, con el propósito de alentar su instalación e iniciar la detonación de este tipo de industrias en beneficio del desarrollo agroindustrial estatal.

¹ Proyecto FOMIX: NAY-2003-C01-9468

Monto aprobado y total: \$935,000.00

² Centro de Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Nayarit.



A diferencia de la tecnología tradicional que genera alimentos fundamentando su conservación en la aplicación de un solo principio o barrera (por ejemplo, altas temperaturas como la esterilización o pasteurización, o bien la reducción de la actividad de agua, como en la deshidratación o concentración por adición de solutos), la tecnología de métodos combinados o de obstáculos plantea, como su nombre lo indica, la combinación inteligente de varios factores inhibidores en un nivel de intensidad menos drástico, para lograr al final un producto alimenticio aceptable en términos de su inocuidad y estabilidad microbiana, de propiedades sensoriales y nutritivas, así como también de una vida de anaquel adecuada.

El proceso tradicional para la obtención de frutas autoestables por medio de la tecnología de métodos combinados, incluye una etapa de equilibrio o estabilización, en la que la fruta se impregna de los ingredientes del jarabe, previo a su envasado, durante un tiempo de 5 a 7 días, lo cual trae como consecuencia un proceso altamente consumidor de tiempo y costoso, aun cuando es altamente eficiente en términos energéticos y productor de alimentos de aceptable calidad.

Por lo tanto, es pertinente la exploración de la posibilidad de generar un proceso continuo a través de la autoestabilización de la fruta dentro del envase (con lo cual se mejoraría la eficiencia del proceso y su economía), demostrando a la vez la obtención de productos de calidad aceptable; ése fue el sentido del presente proyecto, involucrando además el estudio del fenómeno de difusión de las principales barreras químicas utilizadas como ingredientes de la formulación del jarabe para la estabilización del producto en el envase.

Como parte de la ejecución del presente proyecto, además de la generación y/o aplicación de conocimientos en términos de la problemática planteada, se derivaron acciones que fortalecieron las tareas de investigación, destacando las siguientes: a) integración de una red de colaboración académica (dado que el proyecto se ejecutó conjuntamente con la participación de investigadores del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, AC, CIATEJ), b) formación de recursos humanos a nivel licenciatura y posgrado, al involucrar a estudiantes como tesis, c) publicación de resultados en capítulo de libro, libro y artículos científicos en revistas arbitradas e indexadas, d) ponencias en congresos científicos en la temática de alimentos, y e) talleres de capacitación en microempresas sobre el proceso de producción de frutas por la tecnología de métodos combinados autoestabilizadas en el envase.

Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Área: Desarrollo industrial y comercial

Tema: Desarrollo de productos agrícolas, pecuarios, forestales, acuícolas, mineros y pesqueros de Nayarit.

► Objetivo general

Coadyuvar a la generación de productos tecnológicos para la promoción de la industrialización del estado de Nayarit, vía el desarrollo de procesos y productos para la producción de frutas mínimamente procesados por la tecnología de métodos combinados.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

Para el desarrollo del presente proyecto, se ejecutaron las actividades previstas básicamente en tres etapas, las cuales a continuación se describen:

Primera parte. Caracterización fisicoquímica de las frutas (mango y jaca), en especial con respecto a su composición en azúcares, acidez, color y textura, y su relación con el estado de madurez, a efecto de garantizar un producto adecuado después de su procesamiento por la tecnología de métodos combinados.

Segunda parte. En el proceso de elaboración de las frutas por la tecnología de métodos combinados, se seleccionaron las etapas críticas de elaboración, y en ellas se determinaron sus niveles adecuados, especialmente para las barreras químicas empleadas en la formulación de jarabes o de los tratamientos de remojo, mediante un diseño experimental factorial fraccional. Las variables respuestas para la selección de las condiciones del proceso fueron las de comportamiento microbiano, características fisicoquímicas, textura, color y calificación sensorial de las frutas durante su almacenamiento.

Tercera parte. En la última etapa experimental se realizó el estudio de difusividad de las principales barreras químicas empleadas en este proyecto para el procesamiento de frutas por la tecnología de métodos combinados.

Adicionalmente en cada una de las etapas se atendieron las siguientes actividades: a) formación de recursos humanos a través de la dirección de tesis de estudiantes participantes en el proyecto, y b) difusión de los resultados del proyecto, a través de la presentación de ponencias en congresos científicos en México y en el extranjero, publicación de capítulo de libro, libro y artículos científicos en revistas especializadas en el campo de la ciencia y tecnología de los alimentos.

Cuando ya se habían logrado los resultados suficientes para la comprobación de las hipótesis planteadas en el proyecto, respecto de la autoestabilización de frutas en el envase por la tecnología de métodos combinados, se iniciaron las acciones de transferencia de tecnología y capacitación a grupos organizados interesados en el aprovechamiento de dicha tecnología.

► Productos entregados

Dentro de la formación de recursos humanos, destaca la dirección de tesis de licenciatura de los programas académicos de Químico Farmacobiólogo e Ingeniería Química, lo cual a su vez permitió que siete estudiantes obtuvieran su título profesional; asimismo, se generó una tesis que permitió que otro estudiante obtuviera el grado de doctor en Ciencia y Tecnología en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, AC. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tesis de licenciatura y posgrado generadas dentro del proyecto

Tesis	Descripción
Licenciatura	<p>Torres-Delgado, K.P. (2004). "Evaluación de las barreras químicas en mango mínimamente procesado por la tecnología de obstáculos durante su almacenamiento". Unidad Académica de Ciencias e Ingenierías. Universidad Autónoma de Nayarit.</p> <p>Luna-Illades, C. (2004). "Análisis microbiológico y sensorial de conservas de mango mínimamente procesadas por la tecnología de obstáculos, auto estabilizadas en el envase". Unidad Académica de Ciencias e Ingenierías. Universidad Autónoma de Nayarit.</p> <p>Vargas de la Mora, E.E. (2004). "Evaluación de color y textura en mango mínimamente procesado por la tecnología de métodos combinados". Unidad Académica de Ciencias e Ingenierías. Universidad Autónoma de Nayarit.</p> <p>Martínez- Esquivel, A.D. (2006). "Estabilidad microbiana de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i>) mínimamente procesada y autoestabilizada en envases de vidrio por la tecnología de métodos combinados". Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas y Farmacéuticas. Universidad Autónoma de Nayarit.</p> <p>Arias-Amezcu, K.Y. (2007). "Estabilidad de las barreras químicas y evaluación del oscurecimiento del jarabe en jaca mínimamente procesada por la tecnología de obstáculos". Área de Ciencias Básicas e Ingenierías. Universidad Autónoma de Nayarit.</p> <p>Ibarra-Patrón, F.M. (2007). "Evaluación de color en jacka mínimamente procesada por la tecnología de obstáculos autoestabilizada en el envase". Área de Ciencias Básicas e Ingenierías. Universidad Autónoma de Nayarit.</p> <p>Aguilar-Pusian, J.R. (2008). "Estabilidad microbiológica y fisicoquímica de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i>) mínimamente procesada". Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas y Farmacéuticas. Universidad Autónoma de Nayarit.</p>
Doctorado	<p>Ulloa, J.A. (2008). "Difusividad del cloruro de sodio, sorbato de potasio y bisulfito de sodio en rebanadas de mango (<i>Mangifera indica</i>) autoestabilizado en el envase por la tecnología de obstáculos". Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, AC. (CIATEJ).</p>

Otros de los productos importantes entregados fueron los resúmenes de las ponencias presentadas en congresos científicos especializados en la temática de alimentos, tanto a nivel nacional como en el extranjero (Cuadro 2). Fueron en total seis participaciones las que se tuvieron en congresos internacionales, las cuales quedaron registradas en las respectivas memorias, donde aparecieron los trabajos de las contribuciones de este proyecto.

Cabe señalar que dentro del 8º Congreso Internacional de Inocuidad de Alimentos, se presentó la ponencia “Calidad microbiológica de jaca (*Artocarpus heterophyllus*) autoestabilizada en envases de vidrio por la tecnología de obstáculos”, derivada de esta investigación, la cual se consideró como la mejor en la categoría profesional, haciéndose merecedora del respectivo reconocimiento.

Cuadro 2. Ponencias presentadas en congresos en México y en el extranjero derivadas del proyecto

Congresos	Descripción
En México	<p>Ulloa, J.A., Martínez-Esquivel, D., Rosas-Ulloa, P. (2006). “Calidad microbiológica de jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i>) auto estabilizada en envases de vidrio por la tecnología de obstáculos”. 8º. Congreso Internacional de Inocuidad de Alimentos. Puerto Vallarta, Jalisco, México.</p> <p>Ulloa, J.A., Escalona, H., Díaz, L (2006). “Difusivity of the chemical barriers on mango (<i>Mangifera indica</i>) slices self stabilized in glass jars by hurdle technology”. Second International Congress of Food Science and Food Biotechnology in Developing Countries. Saltillo, Coahuila, México.</p>
En el extranjero	<p>Ulloa, J.A., Vargas de la Mora, E.E., Escalona, H.B., Díaz-Jiménez, L., Hernández-Tinoco, A. (2004). “Color and texture properties of minimally processed mango (<i>Mangifera indica</i>) segments by hurdle technology, auto stabilized in glass jars”. Institute of Food Technologists Annual Meeting and Food Expo. Las Vegas, Nevada, USA.</p> <p>Ulloa, J.A., Escalona, H.B., Díaz Jiménez, L., Ulloa Rangel, B. E. (2005). “Potassium sorbate diffusion in minimally processed mango (<i>Mangifera indica</i>) segments by hurdle technology”. Institute of Food Technologists Annual Meeting and Food Expo. New Orleans, Louisiana, USA.</p> <p>Ulloa, J. A. Flores-Muñoz, J., Rosas-Ulloa, P. (2007). “Color changes on jack fruit (<i>Artocarpus heterophyllus</i>) auto stabilized in glass jars by hurdle technology”. Institute of Food Technologists Annual Meeting and Food Expo. Chicago, Illinois, USA.</p> <p>Ulloa, J.A., Aguilar-Pusian, J.R., Rosas-Ulloa, P., Galaviz-Ortíz, K.M.C., Ulloa-Rangel, B.E (2009). “Effect of soaking conditions with citric acid, ascorbic acid, and sorbate potassium on the color and microbiological quality of minimally processed jackfruit (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)”. Institute of Food Technologists Annual Meeting and Food Expo. Anaheim, California, USA.</p>

También como productos de este proyecto se obtuvieron seis publicaciones, de las cuales cuatro fueron artículos científicos en revistas arbitradas e indexadas especializadas en la temática de ciencia y tecnología de alimentos, un capítulo de libro generado con las mejores ponencias procedentes del congreso internacional denominado “Second International Congress of Food Science and Food Biotechnology in Developing Countries”, editado por la Asociación Mexicana de la Ciencia de los Alimentos y un libro técnico editado por la Universidad Autónoma de Nayarit (Cuadro 3).

Tal y como estaba previsto, dentro de las actividades del proyecto también se generaron acciones de transferencia de tecnología, particularmente en tres sociedades de producción rural de responsabilidad limitada (SPR de RL), como es el caso de “Frutas Finas el Verdín”, de la comunidad de El Jicote, Municipio de Tepic, Nayarit; “Mujeres Fruta Alegre Microempresa”, de la población de Las Varas, municipio de Compostela, Nayarit; y “Fruta Orgánica Deshidratada”, de la comunidad del El Llano, municipio de San Blas, Nayarit.

Cuadro 3. Publicaciones en sus diversas modalidades derivadas del proyecto

Tipo de publicación	Descripción
Artículo Científico	<p>Ulloa, J.A., Rosas-Ulloa, P., Flores, J.R., Ulloa-Rangel, B.E., Escalona, H. (2007). “Comportamiento de color en bulbos del fruto de la jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i>) autoestabilizados en frascos de vidrio por la tecnología de obstáculos”. <i>Ciencia y Tecnología Alimentaria</i> 5(5):372-378.</p> <p>Ulloa, J.A., Escalona, H., Díaz, L. (2008). “Color behaviour on mango (<i>Mangifera indica</i>) slices self stabilized in glass jars by hurdle technology”. <i>African Journal of Biotechnology</i> 7(4):487-494.</p> <p>Ulloa, J.A., Guatemala, G.M., Arriola, E., Escalona, H.B., Díaz, L. (2009). “Estimation of the diffusivities of sodium chloride, potassium sorbate and sodium bisulphite in mango slices processed by hurdle technology”. 91(2):211-216.</p> <p>Ulloa, J.A., Aguilar-Pusian, J.R., Rosas-Ulloa, P., Galaviz-Ortiz, K.M.C., Ulloa-Rangel, B.E. (2010). “Efecto del Remojo con ácido cítrico, ácido ascórbico y sorbato de potasio en la calidad fisico-química y microbiológica de jaca mínimamente procesada”. <i>CyTA-Journal of Food</i> (Aceptado).</p>
Capítulo de libro	<p>Ulloa, J.A., Escalona, H., Díaz, L. (2008). “Difusivity of the chemicals barriers on mango (<i>Mangifera indica</i>) slices self stabilized in glass jars by hurdle technology”. En <i>Advances in Food Science and Food Biotechnology in Developing Countries</i>. O. Soto-Cruz, A. Peggi M., Gallegos-Infante, A., Rodríguez-Herrera, R. (Editores). Asociación Mexicana de la Ciencia de los Alimentos. México. Pp. 22-28. ISBN 978-968-9406-00-6.</p>
Libro	<p>Ulloa, J. A. (2007). “Frutas auto estabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos”. Universidad Autónoma de Nayarit. 158 pp. Tepic, Nayarit, México. ISBN 968-833-073-6.</p>

Figura 1. Cartel promocional del libro generado por en el presente proyecto



Figura 2. Capacitación del personal de la microempresa Mujeres Fruta Alegre SPR de RL



Figura 3. Instalación y puesta en marcha de la microempresa en El Llano, municipio de San Blas, Nayarit



Figura 4. Laboratorio beneficiado con la ejecución del proyecto



En todos los casos, las acciones de transferencia de tecnología de este proyecto en beneficio de las sociedades de producción rural antes señaladas, redundaron en la canalización de recursos provenientes de dependencias gubernamentales u otras organizaciones que promueven el desarrollo rural o impulsan proyectos productivos.

Cabe señalar que el grupo organizado de la comunidad de El Llano, fue apoyado económicamente por la Fundación Rotaria, conjuntamente con los Clubes Rotarios *Tepic-Tlatoani* (Distrito 4150), de la ciudad de Tepic, Nayarit, y el *Marilia de Dirceu* (Distrito 4510), de la ciudad de Marilia, Brasil, con lo que se logró la adquisición del equipamiento para la instalación y puesta en marcha de la microempresa.

Finalmente, una parte importante de los recursos captados por el presente proyecto permitió el fortalecimiento de la infraestructura disponible en nuestra institución, ya que con ello se adquirieron nuevas herramientas y accesorios de laboratorio que complementaron y potenciaron lo ya disponible.

Conclusiones y/o beneficios obtenidos

De acuerdo con los resultados del proyecto, se puede señalar que al término de su desarrollo, no solamente se cumplieron los compromisos señalados en la propuesta, sino que éstos fueron superados cuantitativamente en términos de la generación y/o aplicación de conocimientos, participaciones en congresos científicos, producción de artículos científicos y otras publicaciones, formación de recursos humanos y acciones de transferencia de tecnología, sino que además se contribuyó al fortalecimiento de la infraestructura institucional para las tareas de investigación en el campo de ciencia y tecnología de alimentos.





NUEVO LEÓN

CREACIÓN DE LA UNIDAD MONTERREY DEL CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL EN EL PARQUE DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN¹

MA Cirilo Noguera Silva²

► Introducción

Con este proyecto se deseaba expandir las capacidades de CIDESI Querétaro, con una unidad en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica que atienda la demanda del mercado ubicado en el norte del país. Todo ello por medio de la creación de un laboratorio de prototipos con nave industrial de 1150 m² de construcción en su primer etapa con áreas de prototipado rápido, mecanizado de precisión, ensamble pesado y ligero, soldadura, pailería y construcción mecánica. Planta baja del laboratorio para electrónica aplicada, equipado, de 1289 m² de construcción con cuarto limpio, áreas para el desarrollo de sistemas de ahorro de energía para la industria, modelado y procesamiento de señales biomédicas que redunden en el diseño y fabricación de equipos portátiles y ambulatorios de monitoreo de signos vitales, así como la utilización de visión artificial y la simulación para su uso en inspecciones industriales y de ensamble. Planta baja del edificio de ingeniería de diseño de 1005 m² de construcción, con mobiliario y estaciones de trabajo para el diseño de prototipo, líneas de ensamble y equipo de prueba.

¹ Proyecto FOMIX: NL-2005-C06-002

Monto aprobado: \$24,329,250.00

Aportaciones concurrentes: \$30,068,617.00

Monto total: \$54,397,867.00

² Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial.



► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Creación de unidades de centros de investigación y desarrollo industrial en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica del estado de Nuevo León.

► Objetivo general

Desarrollar, asimilar y adaptar tecnologías, así como generar innovaciones en los campos de electrónica aplicada y el diseño y fabricación de equipo de prueba y ensamble, para su transferencia a los sectores productivos y de salud.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

1. **Estudios preliminares.** Análisis del predio, trámites y licencias, estudios topográficos, estudios de mecánica de suelos
2. **Licitación de la obra**
3. **Obra negra.** Cimentación y estructura, albañilería y techumbres
4. **Instalaciones.** Agua potable, drenaje, alcantarillados, red contra incendios, riego de áreas verdes, energía eléctrica, alumbrado de instalaciones, cimentaciones especiales, aislamientos especiales acabados, elevadores en su caso, alarmas, instalación de gas, instalación de maquinaria, vigilancia, obras exteriores, licitación y construcción de la instalación. Durante todo el proyecto se contó con la asesoría y respaldo del personal especializado de CIDESI Querétaro, tomando la responsabilidad por el expertise técnico que se tiene para dirigir proyectos de instalación y puesta en operación de los laboratorios.
5. **Contratación de personal.** De forma paralela a la construcción se contrató al personal que forma parte del equipo de trabajo durante la primera etapa y de acuerdo con el plan de reclutamiento. En la primera etapa se contrató a 15 personas, siendo éstas 13 técnicos y 2 administrativos. Fueron capacitados en inducción a la organización, calidad, operación de equipos adquiridos, manejo de sistemas financieros y control de proyectos. A continuación se presenta la tabla de contrataciones por año:

Tabla 1. Contrataciones por año

Año	Ingenieros y técnicos	Ingenieros con maestría	Doctores	Administrativos y servicios	Total de personal
2007	10	3	0	2	15
2008	15	7	0	4	26
2009	31	7	1	7	46
2010*	33	7	1	8	49

► Productos entregados

- Laboratorio de electrónica aplicada
- Laboratorio de construcción de prototipos
- Área de ingeniería de diseño
- Estacionamiento

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

1. Aumento de la productividad y competitividad del cliente
2. Vinculación con empresas de diversos sectores y tamaños
3. Contribución al proyecto estratégico Monterrey Ciudad Internacional del Conocimiento y a la consolidación del PIIT
4. Desarrollo de alianzas estratégicas y redes de innovación
5. Nuevas áreas de oportunidad
6. Expansión de las capacidades y zona de influencia de CIDESI, lo cual permitirá un crecimiento en el corto, mediano y largo plazos.
7. Desarrollo de capital humano de CIDESI y de las empresas
8. Desarrollo tecnológico bajo contrato para las industrias aeroespacial y automotriz
9. Asesoría a PyMEs.

Mecanismos de transferencia:

1. Desarrollo del paquete tecnológico bajo contrato
 2. Manuales de operación y mantenimiento
 3. Capacitación del personal usuario de la tecnología
 4. Asistencia técnica
 5. Servicio post-venta
 6. Acuerdos de cooperación empresa-CIDESI
 7. Actualización de la tecnología
 8. Licenciamiento
- 

CREACIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ESTUDIOS DEL AGUA DENTRO DEL PARQUE DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA¹

Dr. Belzahet Treviño Arjona²

► Introducción

Es de todos conocido que el agua es un elemento vital para todo ser vivo, y un bien indispensable para las actividades de la vida cotidiana en las viviendas. El tener agua disponible permite realizar el aseo personal y prácticamente todas las labores domésticas de limpieza y alimentación de las familias. El abastecimiento de agua a las comunidades es una evidencia de las condiciones de salubridad y calidad de vida de la población en lo que a bienestar y comodidad se refiere. El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) nos advierte que la dotación de agua potable y su sustentabilidad es una de las grandes preocupaciones a nivel mundial y el alcanzar la cobertura total constituye uno de los Objetivos del Desarrollo del Milenio. En nuestro país el gobierno a través de sus diversos organismos tiene la obligación de dar servicio de agua potable a todos sus habitantes.

¹ Proyecto FOMIX: NL-2005-C08-21553

Monto aprobado y total: \$40,000,000.00

² Centro de Estudios del Agua, ITESM Campus Monterrey.



En México la contaminación del agua superficial y subterránea alcanza niveles preocupantes: más de 75% del total de agua disponible presenta grados de calidad que pueden calificarse de “contaminada” a “excesivamente contaminada”. Un aspecto singularmente grave es la presencia de altos niveles de arsénico y flúor en aguas subterráneas. El problema se acentúa en el norte y centro del país, siendo Guanajuato uno de los estados más afectados por contaminación natural de arsénico y flúor; existen más de 500 comunidades rurales sin disponibilidad de agua potable y con problemas en la calidad de agua de sus pozos, los cuales son utilizados para consumo humano directo.

La demanda de agua potable en las zonas rurales del país requiere el desarrollo urgente de nuevas tecnologías más sustentables en el aprovechamiento de la energía para los procesos de potabilización de agua. El desarrollo de este tipo de tecnologías trae por consecuencia el incremento en la calidad de vida de las comunidades rurales al beneficiar la salud y la economía familiar, al proveer de agua potable a un menor precio.

La tecnología para la remoción de metales pesados más utilizada actualmente es la ósmosis inversa, principalmente por su gran eficiencia en la separación de contaminantes del agua producto y su relativo bajo costo de inversión. Sin embargo, esta tecnología presenta un alto costo de operación del cual 44 % lo representa la energía, convirtiéndola en una de las tecnologías más caras en su operación.

En nuestro país, los apoyos federales, estatales y municipales en infraestructura para la dotación de agua potable en zonas rurales, van ligados a la cobertura de los costos de operación y mantenimiento por parte de los usuarios, lo que en el caso de las unidades de ósmosis inversa tradicionales puede llegar a ser prohibitivo para la economía familiar, teniendo como desenlace el abandono de las unidades instaladas.

El proyecto de Desarrollo e Instalación de un Sistema de Ósmosis Inversa Eólica para la Potabilización de Aguas Contaminadas con Arsénico y Flúor, representa una opción tecnológica sustentable mediante la cual comunidades rurales pueden dotarse de agua potable a menores costos. La tecnología de ósmosis inversa eólica consiste en aprovechar el gran potencial de energía eólica presente en muchas comunidades rurales, acoplado de manera mecánica un sistema de bombeo eólico (aeromotor) a una unidad de filtración (ósmosis inversa), sin necesidad de pasar por energía eléctrica. De esta forma, comunidades rurales de bajo nivel socioeconómico que consumen agua contaminada con arsénico y flúor, podrán mejorar su calidad de vida por reducción en el costo del agua potable y disminución de la incidencia de enfermedades propiciadas por el consumo de arsénico y flúor.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

De acuerdo con las demandas que presentó el Fondo Mixto Gobierno del Estado de Guanajuato y CONACYT, el proyecto atendió las siguientes demandas específicas:

- a. Desarrollo de tecnologías de potabilización de agua para zonas rurales que sean de fácil operación y bajo costo.
- b. Desarrollo de nuevas tecnologías y productos que incorporen el uso de energía renovable.
- c. Desarrollo de tecnología en fuentes alternas de energía para proporcionar servicios básicos en zonas rurales y marginadas.

► Objetivo general

El objetivo del presente proyecto consistió en desarrollar un sistema piloto de potabilización de agua contaminada con arsénico y flúor utilizando energía eólica como fuerza motriz, para proveer de agua potable a una comunidad rural del estado de Guanajuato.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

El proyecto inicia con la selección de la comunidad rural apoyándonos en la información proporcionada por la Comisión Estatal de Agua de Guanajuato (CEAG), tomando como criterios los límites establecidos para arsénico y flúor en la NOM 127 SSA1, el grado de marginación de la población, el número de habitantes beneficiados y la ubicación de la comunidad.

Con base en el régimen de viento, calidad del agua y número de personas en la localidad, se procedió a definir el tamaño de aeromotor y sistema de filtración requeridos para proveer de 12 litros por persona por día, de acuerdo con los estándares de la Organización Mundial de la Salud. La población de la localidad se obtuvo de los censos publicados por el INEGI y cotejados en campo por el personal del ITESM. La calidad de agua se obtuvo del monitoreo sistemático llevado a cabo por la CEA y cotejado con el muestreo y análisis por el personal del ITESM. Los vientos fueron obtenidos con base en los datos históricos de la estación de Comisión Nacional del Agua (CNA) en Abasolo, Guanajuato.

De acuerdo con lo anterior, la comunidad elegida fue Cerrito de Agua Caliente, municipio de Cuerámara en el estado de Guanajuato. La comunidad cuenta con 531 habitantes, presenta un alto nivel de marginación, su fuente de agua proviene de un pozo profundo

con 897, 0.15 y 3.2 mg/l de sólidos disueltos totales, arsénico y flúor, respectivamente, todas ellas por arriba de la norma (SDT 250 mg/l, As 0.025 mg/l y F 1.5 mg/l). El sistema consta de una unidad comercial de bombeo eólico con 16 ft de diámetro de aspas y 3 pulgadas de diámetro de pistón en conjunto con 3 membranas de ósmosis inversa y espirales en cartuchos de 4 X 40 pulgadas.

Habiendo definido el tamaño del aeromotor y filtros requeridos para obtener la cantidad de agua potable necesaria, se procedió a diseñar el sistema de acoplamiento, principal aportación tecnológica del presente estudio. Este paso implicó el poder acoplar el bombeo eólico con su variabilidad característica (viento) al sistema de ósmosis inversa con sus requerimientos de flujo, presión mínima y máxima. El desarrollo tecnológico permite al bombeo eólico proveer a la ósmosis inversa de un suministro mínimo de agua constante, con un rango de presión bajo control entre los límites mínimo y máximo.

La ósmosis inversa eólica (OIE) requiere de una fuerza motriz para el bombeo que en nuestro caso es la energía cinética del viento, que mediante las hélices del aeromotor se transforma en fuerza mecánica (torque), transmitida por un eje vertical hasta la bomba que impulsa el flujo hidráulico hacia las membranas. Es decir, no hay generación eléctrica, sólo energía mecánica, evitando pérdidas en la transformación de la energía desde la energía cinética del viento hasta la energía química del agua potable, reduciendo así costos innecesarios. Para mantener la presión del agua constante sobre las membranas, se utiliza un amortiguador eólico, el cual permite hasta 2 horas de lapso, necesario cuando los vientos disminuyan y el aeromotor no tenga la suficiente potencia para impulsar el agua a la presión deseada. El agua potabilizada (permeado) se almacena en un tanque, del cual por medio de tubería subterránea, y aprovechando la diferencia de alturas entre el tanque y la población, el agua potable llega a tres puntos de distribución seleccionados por la localidad, lugar al que deberán dirigirse los pobladores para abastecerse del líquido necesario. El rechazo o concentrado es enviado a una pila de secado, que por la radiación solar de la localidad resulta ideal, a la par que el volumen del mismo no será tan elevado por la eficiencia del diseño, evitando así problemas ambientales.

El sistema requirió de definir una estrategia de monitoreo remoto, mediante la cual se pudiera estar mandando información crítica en forma continua. Las variables identificadas como críticas para su monitoreo continuo fueron: velocidad del viento, flujo de agua potable, presión de bombeo eólico, presión de entrada a filtros y calidad del agua potable. El sistema se desarrolló en conjunto con la empresa Agrience, utilizando la tecnología ADCOM mediante la transmisión de datos vía radio a su base más próxima, y posteriormente vía Internet hasta el lugar elegido para llevar a cabo el monitoreo a distancia del sistema, en este caso, Monterrey, Nuevo León.

Finalmente, ya instalada la tecnología y monitoreándola a distancia, se documentó la eficacia del sistema en la producción de agua potable a partir de agua contaminada con arsénico, así como el consumo promedio por la población a lo largo del tiempo. El sistema ha estado operando por más de 5 años a la fecha, lo cual nos ha permitido cuantificar los costos de operación y mantenimiento de la unidad.

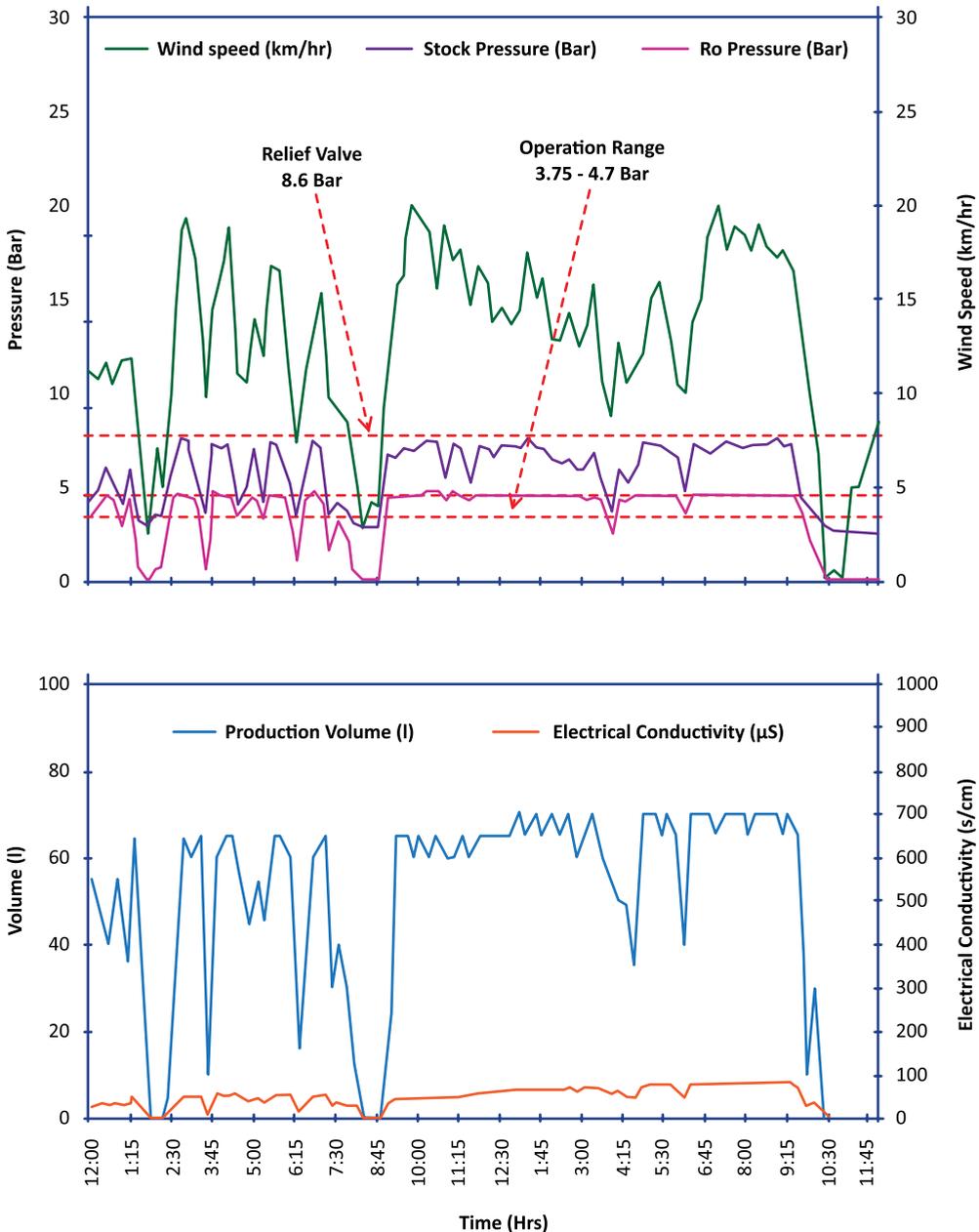
► Productos entregados

El sistema piloto de OIE presentó una producción promedio de 1000 l/día con una calidad de agua de 49 mg/l de SDT. No se requirió de ninguna fuente de energía externa, aparte de la eólica, durante todo el proceso de potabilización. El ahorro en energía eléctrica por el uso de energía eólica fue de 2731 Kj/m³.

La Figura 1 muestra cómo la presión de operación (línea guinda) y la presión de almacenamiento (línea doble) son controladas por el sistema independientemente de la velocidad del viento (línea celeste). Aun y cuando la velocidad del viento es alta, la presión máxima en el almacenamiento se mantiene constante en 8.6 bar, y la presión de operación para las membranas igualmente se mantiene en un rango controlado entre 3.7 y 4.7 bar. A su vez, la Figura 1 muestra la reducción en la variabilidad en producción de agua potable (línea azul) en comparación con la variabilidad en la velocidad del viento, mostrando cómo el sistema de amortiguamiento está funcionando para la protección de las membranas. Por último, la Figura 1 (línea amarilla) muestra la poca variabilidad en la calidad del agua producida a lo largo del tiempo independientemente de la variabilidad en la velocidad del viento. Con estos resultados podemos demostrar que el sistema de ósmosis inversa eólica presenta un comportamiento de producción de agua potable en cantidad y calidad controlado con respecto a la variabilidad en la velocidad del viento.

Considerando que este proyecto es de carácter social y no tiene utilidad económica directa, se realizaron encuestas, pláticas y publicidad informativa para lograr la asimilación de tecnología. La encuesta se realizó sobre una muestra poblacional de 22%, en donde se detectaron los hábitos alimenticios y padecimientos más comunes, identificando que 60.17% de los habitantes consumen agua de pozo diariamente. A través de esta información se calculó el cociente de peligro (número de veces que se rebasa la máxima cantidad diaria permitida de un contaminante) por ingestión y contacto dérmico de agua contaminada con arsénico; para adultos el cociente es 2, mientras que para los niños el cociente llega a 20. El valor máximo permitido por la normatividad mexicana es de 1, para niños y adultos. La exposición prolongada de arsénico a bajos niveles por largo tiempo, puede producir oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en las palmas de las manos, las plantas de los pies y el torso, mientras que altos niveles de fluoruros pueden dañar los dientes y los huesos.

Figura 1. Monitoreo de variables de operación de la OIE a lo largo del tiempo



Bajo la implementación del presente proyecto, el sistema piloto de OIE generó una producción promedio de 1,000 l/día con una calidad de agua de 49 ppm de SDT. No se requirió de ninguna fuente de energía externa, aparte de la eólica, durante todo el proceso de potabilización. El ahorro en energía eléctrica por el uso de energía eólica fue de 2731 Kj/m³. Aun y cuando está completamente documentado y probado a nivel comercial que la filtración por ósmosis inversa remueve en forma eficiente arsénico, flúor y sólidos disueltos, se llevó a cabo el análisis antes y después para el agua producto de la unidad de OIE, como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación entre el agua antes y después del tratamiento mediante OIE

Parámetro	Límite permisible por la NOM 127-SSA1 1994 (mg/l)	Calidad del agua en el sistema (mg/l)						Comparación con la NOM 127-SSA1 1994					
		Antes			Después			Antes			Después		
		Sep-05	Abr-06	Oct-06	Sep-05	Abr-06	Oct-06	Sep-05	Abr-06	Oct-06	Sep-05	Abr-06	Oct-06
Arsénico	0.025	0.15	0.22	0.1	<0.02	<0.02	0.001	6.0	8.80	4.0	0.0	0.0	0.04
Fluoruros	1.5	3.2	3.08	2.85	0.25	<0.03	0.13	2.13	2.05	1.9	0.17	0.0	0.09
SDT	1000	1753	505.8	897	<0.1	20.12	48	1.75	0.51	0.9	0.0	0.02	0.05

El sistema de OIE se diferencia de la ósmosis inversa tradicional en que la primera utiliza una bomba eólica (papalote) y un acumulador/amortiguador de energía eólica en sustitución de un motor eléctrico y bomba. En virtud de lo anterior, se realizó una comparación entre los costos iniciales de instalación y operación de ambos sistemas de bombeo para determinar qué fuente de energía es más rentable para los usuarios finales y para el gobierno como entidad encargada de comprar el sistema. No se incluyó el sistema de membranas, ya que éste es exactamente igual para ambos casos.

Esta comparación se lleva a cabo evaluando la tasa de retorno de los valores diferenciales obtenidos, al comparar el costo inicial y los costos de operación de cada una de las fuentes de energía (eólica y eléctrica) a lo largo de un período de operación de 10 años. Se escogió para este periodo de tiempo, considerando que una vez instalado el sistema se espera que funcione por un mínimo de 10 años o más. En la Tabla 2 se muestra la comparación de los sistemas para una población de 1,000 habitantes como base de comparación.

La tasa interna de retorno (TIR) calculada para el presente caso es de 27.61%, lo que indica que los ahorros en los costos de operación obtenidos a lo largo del tiempo son suficientes para compensar la mayor inversión que requiere un sistema accionado por energía eólica. Esta comparación se llevó a cabo para diferentes tamaños de poblaciones

Tabla 2. Costos en sistemas de bombeo tradicional y eólico (1,000 hab.)

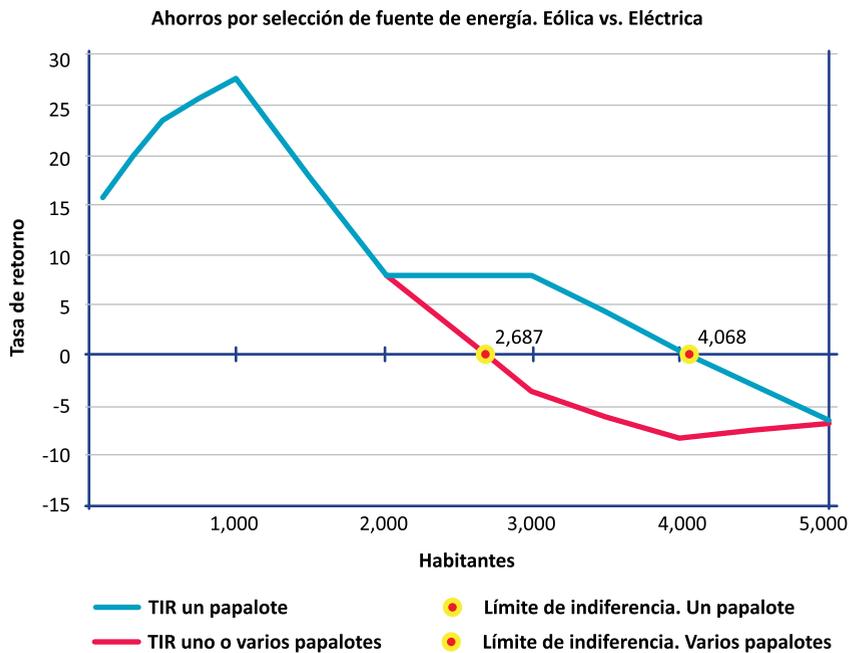
1,000 habitantes Flujo de caja (MXN)	Año											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sistema tradicional												
Costo inicial	\$ 14,500											
Costo de operación (electricidad)	\$3,143	\$3,300	\$3,465	\$3,638	\$3,820	\$4,011	\$4,212	\$4,422	\$4,643	\$4,876		
Costo de mantenimiento	\$500	\$525	\$551	\$579	\$608	\$638	\$670	\$704	\$739	\$776		
Total	\$ 14,500	\$3,825	\$4,016	\$4,217	\$4,428	\$4,649	\$4,882	\$5,126	\$5,382	\$5,651		
Sistema IANL												
Costo inicial	\$ 27,180											
Costo de operación	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
Costo de mantenimiento	\$300	\$315	\$331	\$347	\$365	\$383	\$402	\$422	\$443	\$465		
Total	\$ 27,180	\$300	\$315	\$347	\$365	\$383	\$402	\$422	\$443	\$465		
Flujo de caja	\$ 12,680			\$3,685	\$3,870	\$4,063	\$4,480	\$4,704	\$4,939	\$5,186		

como se muestra en la gráfica de la Figura 2. Analizando los resultados, se determinó que el sistema eólico es más rentable que el tradicional en poblaciones de hasta 2,687 habitantes para sistemas con una bomba eólica individual, y hasta aproximadamente 4,068 habitantes en sistemas con varias bombas eólicas. Esto quiere decir que para el gobierno y los usuarios finales, el límite de indiferencia de instalar una u otra tecnología se da en este punto. Para las poblaciones con más de 4,068 habitantes es más rentable instalar el sistema de ósmosis inversa tradicional, debido a que el ahorro en consumo de energía eléctrica no compensa la inversión inicial de una bomba eólica más el tanque hidroneumático, el cual es un poco más del doble del costo de un motor eléctrico y una bomba que hacen el mismo trabajo. **El punto de mayor ahorro se obtiene para poblaciones de alrededor de 1,000 habitantes.** Como se observa, a medida que se incrementa el tamaño de la población van disminuyendo los ahorros. Esto se debe al incremento que se va dando en la inversión inicial, causado en gran parte por el costo de las bombas eólicas, pues cada vez se tendrían que instalar unidades de mayor tamaño siendo éstas menos rentables comparadas con las de menor tamaño.

► Conclusiones y /o beneficios obtenidos

El sistema de potabilización mediante ósmosis inversa eólica ha permitido a lo largo de 6 años que los habitantes del poblado de Cerrito de Agua Caliente (550 habitantes) consuman agua de una excelente calidad, de acuerdo con los estándares definidos por la Secretaría de Salud, sin verse afectados en su economía. El sistema no ha necesitado de energía eléctrica y 100% de su requerimiento energético ha sido cubierto

Figura 2. Comparación de TIR por ahorro por selección de fuente de energía



por la energía eólica proveniente del viento, reduciendo el costo de producción de agua potable. El ahorro en energía eléctrica por el uso de energía eólica fue de 2731 Kj/m³. El sistema no afecta al medio ambiente, ya que el residuo generado (concentrado de sales tóxicas) que se retira del agua se acumula en una pila de evaporación, la cual cuenta con una capacidad para evaporar diariamente 100% de lo que se genera de concentrado. Las sales tóxicas remanentes en la pila de evaporación son confinadas como residuo peligroso dada su concentración de arsénico y flúor. El costo de la producción de agua potable, tomando en cuenta la operación y mantenimiento de la unidad, es inferior a los \$ 3.00 por garrafón de 20 litros.

Las plantas potabilizadoras eólicas ofrecen una alternativa viable a la problemática económica y de infraestructura de las plantas tradicionales; la inversión inicial es ligeramente superior a la de una planta tradicional. La TIR calculada para la sustitución de la planta potabilizadora de ósmosis inversa tradicional por el sistema de OIE, con base en una población de 1,000 habitantes, fue de 27.61%, lo que indica que los ahorros obtenidos a lo largo del tiempo son suficientes para compensar la mayor inversión que requiere el sistema accionado por energía eólica.

Ya que el sistema no requiere de energía eléctrica, la opción eólica puede llegar a las comunidades sin acceso a energía eléctrica. Aparte de la innovación tecnológica que el proyecto representa, su aportación social es el principal logro de esta tecnología. El desalinizador eólico abre las puertas a que otras comunidades rurales marginadas aumenten su calidad de vida, al consumir agua de buena calidad con la consecuente disminución de enfermedades sin afectar la economía familiar. El sistema de ósmosis inversa eólica representa una forma factible, confiable y sustentable de potabilizar agua en comunidades rurales.

El sistema de ósmosis inversa remueve los contaminantes de manera que el cociente de peligro se encuentre dentro de la norma. Con lo anterior, es posible apreciar el valor social y en materia de salud que tiene este proyecto, así como la importancia de diseminar esta innovación tecnológica en otras poblaciones del país con afectaciones similares.





PUEBLA

DIVERSIDAD GENÉTICA, CONSERVACIÓN Y FITOMEJORAMIENTO DE POBLACIONES LOCALES DE MAÍZ (*ZEA MAYS* L.) EN LAS PRINCIPALES REGIONES PRODUCTORAS DE PUEBLA¹

Abel Gil Muñoz,² Pedro Antonio López, Juan de Dios Guerrero Rodríguez, Oswaldo Rey Taboada Gaytán, Enrique Ortiz Torres, Higinio López Sánchez, J. Arahón Hernández Guzmán, Mario Valadez Ramírez;³ Amalio Santacruz Varela;⁴ Delfino Reyes López⁵

► Introducción

México, específicamente en el área correspondiente a Mesoamérica, fue considerado como el centro de origen del maíz (Vavilov, 1931) debido, entre otros factores, a la existencia de su pariente silvestre más cercano (el teocintle, *Zea mays* L. subsp. *parviglumis*) y a la presencia de una amplia diversidad de formas para la especie. Tal diversidad se ve reflejada en la gran cantidad de poblaciones nativas (maíces criollos) cultivadas por los agricultores, fundamentalmente en las regiones temporaleras del país. Varios investigadores han trabajado en el ordenamiento y clasificación de dicha variación a través del concepto de raza; producto de tales estudios, en la actualidad se reconocen

¹ Proyecto Fomix: PUE-2007-01-76993

Monto aprobado: \$975,000.00

Otras aportaciones: \$40,000.00

Monto total: \$1,015,000.00

² Responsable Técnico del Proyecto: Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla

³ Todos ellos son Profesores Investigadores del Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla.

⁴ Profesor Investigador del Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo.

⁵ Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Agrohidráulica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.



65 razas en el país (Serratos, 2009). Las razas han constituido un referente importante para la sistematización de la diversidad; sin embargo, y como lo consigna Ortega (2003), representan sólo un punto de referencia en el continuo de variantes manejadas por los agricultores, pues ellos, a través de la selección que año tras año ejercen en sus poblaciones, las van diferenciando paulatinamente de las accesiones tipo. De ello se deriva la importancia de conducir estudios a intervalos regulares que permitan conocer el estado actual de variación con respecto a las razas reportadas como existentes en un área determinada.

El estudio de la diversidad también se ha tornado particularmente relevante en los últimos años, debido a que a partir de ellos se pueden tomar decisiones para la conservación *in situ* y *ex situ* de recursos fitogenéticos, acción aun más importante en el caso de aquellos empleados en la alimentación y la agricultura (Molina y Córdova, 2006).

Finalmente conviene mencionar que una vertiente aún poco explorada en el estudio de la diversidad genética del maíz tiene que ver con el aprovechamiento de la misma con fines de fitomejoramiento. Los resultados condensados por Muñoz (2005), a partir de investigaciones conducidas en diferentes regiones de México, evidencian que las poblaciones locales de maíz deben ser el punto de partida en la formación de variedades mejoradas de alto rendimiento de grano. Bajo esta premisa, se considera que también es factible encontrar variabilidad para otros atributos que pueden conferir un valor agregado a la producción de maíz.

Con estos antecedentes y considerando que en el estado de Puebla el maíz concentró 62% de la superficie sembrada en 2008 (SIAP, 2010), que dos rasgos fundamentales de su producción son el que 92% de la superficie sembrada es de temporal (SIAP, 2010), que el uso de poblaciones locales (también llamadas variedades criollas o nativas) alcanza 90% (INEGI, 2006), que existen evidencias de variabilidad fenotípica considerable, y en atención a los términos de referencia de la Convocatoria 2007-01 del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla fue que se preparó el presente proyecto.

Demanda específica atendida por el proyecto

El proyecto atiende la demanda 3.1 Caracterización y Mejoramiento Genético de Razas Locales de Maíz (Modalidad A1), ubicada en el Área 3. Desarrollo Urbano y Rural, de la Convocatoria 2007-01 del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla. En dicha convocatoria se indica que el objetivo general a cumplir será el de “conservar y mejorar los recursos genéticos de variedades nativas del Estado de Puebla”.

► Objetivo general

Éste se formuló en términos de: “Determinar el estado actual de la diversidad genética de poblaciones locales de maíz en tres principales regiones productoras del estado de Puebla y generar material base para iniciar un programa de mejoramiento genético, tendiente a incrementar los niveles productivos y de aprovechamiento de los usos tradicionales y potenciales, con el fin de conferir valor agregado a su cultivo”.

► Descripción del desarrollo del proyecto

El proyecto está orientado al estudio de maíces locales en tres regiones importantes en el estado en cuanto a producción y diversidad de maíz se refiere: los valles de Libres-Serdán [regiones Libres-Huamantla-Mazapiltepec (LHM) y Serdán-Tlachichuca-Guadalupe Victoria (STGV)], la de Tehuacán (TEH) y la porción este de la Sierra Nororiental (TEZ). El proyecto se estructuró en tres etapas cronológicas (cada una con duración de un año), a lo largo de las cuales se desarrollarán las siete actividades que se listan a continuación:

- a. Colecta de variedades locales: Para el acopio de muestras de semilla representativas de la diversidad cultivada en cada una de las regiones de estudio. Estas muestras serán almacenadas en un Banco de Germoplasma Institucional.
- b. Caracterización morfológica y agronómica: La primera permitirá determinar los patrones de agrupamiento de las poblaciones locales de maíz cultivadas actualmente, sus atributos morfológicos y el grado de relación que guardan con las razas reportadas para cada región. La segunda, ayudará a identificar materiales sobresalientes con base en rendimiento de grano.
- c. Selección para usos especiales: Considerando la gama de usos que pueden darse del maíz, se conducirán evaluaciones que permitan identificar poblaciones de maíz aptas para ser empleadas como materiales de doble propósito (producción de grano y de rastrojo) o para el aprovechamiento de totomoxtle o para la producción de elote.
- d. Aumento-descripción varietal: El aumento se refiere básicamente al incremento de semilla mediante polinización controlada en aquellos materiales que así lo requieran o a la recombinación genética de poblaciones sobresalientes. El registro de descriptores varietales se llevará a cabo en las poblaciones sobresalientes en cuanto a rendimiento de grano o usos especiales, a fin de reunir los datos requeridos para iniciar el proceso de registro de aquéllas ante el SNICS.
- e. Caracterización molecular: Ésta se conducirá sobre poblaciones selectas que representen la diversidad morfológica presente en cada región. A través del empleo de marcadores moleculares como los microsatélites, se estará en condiciones de

precisar el nivel de variación genética entre y dentro de poblaciones, así como de establecer relaciones filogenéticas entre tales materiales. Asimismo, permitirá establecer las huellas genómicas de las poblaciones locales.

- f. Caracterización bioquímica: Su propósito es el de cuantificar el nivel de variación existente entre las poblaciones nativas de maíz en cinco atributos bioquímicos: Vitamina E, almidón, proteína, aceite y antocianinas, lo cual permitirá también seleccionar los materiales con los niveles más altos para las características citadas.
- g. Taller y banco de germoplasma: En esta etapa se elaborará una propuesta para la construcción de un banco de germoplasma y se preparará el contenido y material de apoyo para cursos taller relacionados con la difusión e importancia de los recursos fitogenéticos en el estado de Puebla.

El proyecto fue planeado para un período de tres años. Se inició en junio de 2008, y se tiene programado concluirlo en junio de 2011; al momento se está iniciando el tercer año de actividades. A continuación se presenta un extracto muy breve de los avances obtenidos al momento (agosto de 2010) por actividad programada.

- a. Colecta de variedades locales: Tal como se había comprometido, ésta se realizó en las regiones de TEZ y TEH. El material de ambas regiones, al igual que el previamente copiado en los valles de Libres-Serdán está siendo remitido a un banco de germoplasma institucional.
- b. Caracterización morfológica y agronómica: La caracterización morfológica (que permitió hacer las valoraciones de similitud con accesiones tipo de las razas reportadas para cada región) se concluyó en todas las regiones. En el caso de la agronómica, en los valles de Libres-Serdán se ha finalizado el segundo ciclo de evaluación, mientras que en las regiones de TEZ y TEH aquélla se está llevando a cabo en los experimentos establecidos para tal efecto.
- c. Selección para usos especiales: En los valles de Libres-Serdán se están conduciendo experimentos ex profeso para valorar la aptitud para doble propósito y para la extracción de totomoxtle. En las regiones de TEZ y TEH se tienen experimentos donde se llevará a cabo un segundo ciclo de valoración de las poblaciones locales para ambos usos. En TEH también se desarrollará el segundo ciclo de evaluación para producción de elote.
- d. Aumento-descripción varietal: A la fecha se han sembrado dos lotes de polinización controlada, uno por año, para el incremento de las poblaciones que se van seleccionando. Por otra parte, para la región de LHM se han escogido cinco poblaciones por su buen comportamiento agronómico en los dos ciclos de evaluación que se tienen en el área. Al momento, se está llevando a cabo el registro de descriptores varietales para los cinco materiales.

- e. Caracterización molecular: Con base en los resultados de las caracterizaciones morfológicas, se escogieron materiales representativos de la diversidad encontrada en las tres regiones; en todos ellos se ha procedido a la extracción de ADN para el trabajo que se tiene programado con microsátélites.
- f. Caracterización bioquímica: Se ha finalizado la extracción de ADN en las poblaciones seleccionadas para la determinación de Vitamina E. En lo que respecta al análisis de contenidos de almidón, proteína y aceite, éste se ha completado para un conjunto de 176 accesiones de los valles de Libres-Serdán. En relación con la determinación de antocianinas, se han escogido los materiales candidatos para tal análisis en las tres regiones.
- g. Taller y banco de germoplasma: Esta actividad se desarrollará en el transcurso de éste que es el último año de operación del proyecto.

Es conveniente señalar que en los trabajos en campo (colecta, establecimiento de experimentos y lotes de aumento) se ha contado con la invaluable ayuda de los diferentes comisariados ejidales contactados, así como de los agricultores (pues todos los experimentos se han sembrado en sus parcelas). En el caso de los trabajos en laboratorio, se ha tenido el apoyo en cuanto a servicios e instalaciones del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), específicamente del Laboratorio de Maíz del Campo Experimental Valle de México "El Horno", y del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados.

Productos entregados

En el Cuadro 1 se presenta una síntesis de los productos más relevantes que se comprometieron en el marco del proyecto y que han sido obtenidos durante las dos primeras etapas de operación del mismo. Como se observa, se tienen avances sustanciales en prácticamente todas las actividades programadas, excepto en la última, la cual comenzará a instrumentarse durante la última etapa del proyecto. Cabe mencionar que al término de ésta (junio de 2011), se contará con éste y otros productos adicionales.

Conclusiones y/o beneficios obtenidos

Con base en los avances que se tienen al momento es posible enunciar las siguientes conclusiones:

- a. En las tres regiones estudiadas persisten altos niveles de variación fenotípica; evidencia de ello son los diferentes patrones varietales identificados en cada caso.

- b. En todas las regiones se detectó la existencia de una variabilidad importante para los diversos atributos agronómicos considerados (rendimiento de grano, doble propósito, totomoxtle, elote, caracteres composicionales).

Cuadro 1. Relación de productos relevantes obtenidos por región (a agosto de 2010). Proyecto FOMIX 76993

Producto (Número)	Indicador	REGIÓN ¹			
		GVTS	LHM	TEZ	TEH
Julio 2008–Junio 2009					
Accesiones	100/región	n.a. ²	n.a.	120	94
Accesiones en Banco de Germoplasma Institucional	200	470		En proceso	En proceso
Cuestionarios de colecta	200	n.a.	n.a.	96	76
Base de datos de colecta	1/región	n.a.	n.a.	1	1
Experimentos	3/región	3	3	3	3
Lote de aumentos	1	1			-
Estudiantes de posgrado	Variable	1		-	-
Julio 2009–Junio 2010					
Informes caracterización morfológica y agronómica	2/región	n.a.	n.a.	2	2
Base de datos morfológicos	1/región	n.a.	n.a.	1	1
Materiales sobresalientes identificados	Variable	32	5	43	30
Catálogos digitales	1/región	1	1	1	1
Materiales seleccionados					
Doble propósito	Variable	8	25	8	En proceso
Totomoxtle	Variable	18	19	8	10
Elote	Variable	n.a.	n.a.	n.a.	34
Estudio Molecular	90	45		22	44
Vitamina E	30	30		n.a.	n.a.
Análisis Composicional	100	176		En proceso	En proceso
Antocianinas	15/región	15		12	15
Lote de aumentos	1	1			-
Experimentos	3/región	7	6	2	3
Estudiantes posgrado	Variable	1		2	-
¹ GVTS=Guadalupe Victoria-Tlachichuca-Serdán; LHM=Libres-Huamantla-Mazapiltepec; TEZ=Teziutlán; TEH=Tehuacán ² n.a. = no aplica					

- c. En cada región de trabajo se detectaron poblaciones nativas sobresalientes, capaces de superar el comportamiento de los mejores testigos y de otros materiales criollos.
- d. Los elementos previos indican que hay muy buenas perspectivas para un programa de fitomejoramiento a partir de poblaciones locales en las regiones de estudio.
- e. Los procesos de selección que ininterrumpidamente han estado conduciendo los agricultores han resultado en una divergencia fenotípica considerable, entre las poblaciones nativas colectadas y las accesiones tipo de las diversas razas reportadas para las regiones de estudio.

Los beneficios que se derivarán del proyecto al término del mismo son:

- a. La posibilidad de ofrecer a los agricultores de las áreas de estudio opciones productivas, no sólo en términos de rendimiento agronómico, sino también de atributos que permitan conferirle un valor agregado a la producción. Ello permitirá fortalecer el papel estratégico que tiene el maíz al interior de las unidades familiares de producción.
- b. El aporte de un elemento clave (poblaciones nativas de maíz sobresalientes) para la implementación de un programa de desarrollo local, basado precisamente en el aprovechamiento de los recursos propios de cada región.
- c. La generación de información respecto a los niveles de diversidad fenotípica y genética presente en poblaciones nativas de maíz, así como del potencial existente entre este tipo de materiales, sustentando así la factibilidad de conducir programas de conservación y fitomejoramiento *in situ*.
- d. La formación de al menos tres profesionales a nivel de posgrado.
- e. La concreción de elementos que contribuyan a la revaloración del maíz y su diversidad genética entre la sociedad.

Literatura citada

INEGI (2006). *Anuario estadístico del Estado de Puebla*. Edición 2002. Tomos I y II. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática-Gobierno del Estado de Puebla. INEGI. México.

Molina M., J. C y Córdova T., L. (Eds.). *Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional 2005*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, AC. 192 pp.

Muñoz O., A. (Dir.) (2005). *Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico, Glosario Centli-Maíz*. Segunda Edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 210 pp.

Ortega P., R. (2003). "La diversidad del maíz en México". En: G. Esteva y C. Marielle (Coords.). *Sin maíz no hay país*. Museo Nacional de Culturas Populares. México, DF. pp. 123-154

Serratos H., J. A. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. Greenpeace México. México DF. 34 pp.

SIAP (2010). Cierre de la producción agrícola por estado. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 (Consultado el 4 de septiembre de 2010).

Vavilov, N. I. (1931). "México y Centroamérica como centro básico de origen de las plantas cultivadas del Nuevo Mundo". *Boletín de Botánica Aplicada, Genética y Fitomejoramiento* 26(3). Traducción de E. Gribovskaia y R. Ortega P., publicada en 1994 en *Revista de Geografía Agrícola* 20: 16:34



PRODUCCIÓN ORGÁNICA INTENSIVA DE SHII-TAKE JAPONÉS (*LENTINULA EDODES*) Y SHII-TAKE MEXICANO (*L. BORYANA*) EN PUEBLA: DESARROLLO DE UN PROCESO BIOTECNOLÓGICO COMERCIAL Y EL ANÁLISIS DE SU COMPETITIVIDAD EN EL MERCADO NACIONAL DE HONGOS COMESTIBLES¹

D. Martínez-Carrera, M. Sobal, P. Morales, M. Bonilla y W. Martínez;² B. Pérez Armendáriz;³ Y. Mayett;⁴ F. R. Jiménez;⁵ P. Ramírez-Carrasco e I. Tello,⁶ y E. Montiel⁷

¹ Proyecto FOMIX: PUE-2007-01-76524

Monto aprobado y total: \$650,000.00

² Todos ellos del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS), *Campus Puebla*, Biotecnología de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales.

³ También del COLPOS y de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), Programa de Postgrado en Dirección de Organizaciones y Agronegocios, bajo una posición postdoctoral financiada por el CONACYT (71445), y supervisada por D. Martínez-Carrera. Actualmente, en programa de retención CONACYT-UPAEP.

⁴ De la UPAEP.

⁵ De la University of Texas at El Paso, College of Business, Texas TX 79968, EUA.

⁶ Becarios de nivel doctoral del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

⁷ Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Laboratorio de Micología, Centro de Investigaciones Biológicas (CIB).



► Introducción

A nivel global, el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles representa una actividad primaria de gran relevancia social, económica y ecológica (Chang y Miles, 2004). Ya se producen comercialmente más de 15 especies de hongos comestibles, a través de procesos biotecnológicos altamente eficientes en la utilización de agua y su conversión a proteína (1 litro de agua por gramo de proteína). Sin embargo, en México, sólo se cultivan dos especies a gran escala y de manera consistente (champiñones: *Agaricus*; setas: *Pleurotus*), a pesar del enorme potencial que tiene el país para la producción competitiva de otras especies en función de su biodiversidad, su clima, la abundancia de subproductos agrícolas y forestales que pueden utilizarse como substrato de cultivo, sus importantes ventajas comparativas, y las oportunidades que ofrece la economía globalizada (Martínez-Carrera *et al.*, 2007). El hongo comestible denominado *shii-take* japonés [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler] en los mercados internacionales es considerado un excelente alimento funcional, con diversas propiedades nutricionales y medicinales demostradas científicamente (anticancerígenas, antibióticas, que reducen el nivel de colesterol y la hipertensión, antitrombóticas, antidiabéticas) [Martínez-Carrera *et al.*, 2004]. Esta especie sólo se ha producido experimentalmente o esporádicamente en el país, porque se carece de un paquete tecnológico adecuado para su producción consistente y a gran escala. Por otro lado, principalmente, en los bosques mesófilos de montaña de México crece silvestre *L. boryana* (Berk. & Mont.) Pegler, una especie filogenéticamente muy relacionada, la cual es consumida por las comunidades locales y puede considerarse como el *shii-take* mexicano, aunque no existen registros de su cultivo a gran escala ni información sobre sus propiedades funcionales. *L. boryana* también se ha registrado creciendo silvestre en regiones tropicales y subtropicales del sureste de EUA, Costa Rica, Venezuela, Brasil y el Caribe (Guzmán *et al.*, 1997; Nicholson *et al.*, 1997; Thon y Royse, 1999; Mata *et al.*, 2001b).

Actualmente, existe fuerte demanda social en México de hongos comestibles diferentes al champiñón (*Agaricus*) y las setas (*Pleurotus*), mientras que el mercado internacional del *shii-take* japonés (*L. edodes*) está creciendo a tasas superiores a 25% anual (Chang, 1999; Royse *et al.*, 2002). A nivel mundial, el segundo hongo comestible comercialmente cultivado más importante es el *shii-take* japonés, ya que se produjeron 1'534,600 toneladas de producto fresco en 1997. La mayor parte (>98.5%) de esa producción comercial se genera en el Sureste de Asia, principalmente en China (87.1%), Japón (8.6%), Taiwán (1.7%) y Corea del Sur (1.1%) [Chang, 2002]. En Latinoamérica, se iniciaron diversos esfuerzos empíricos para cultivar el *shii-take* japonés, desde principios de los 80, en Colombia, Guatemala y México (Martínez-Carrera, 2000, 2002). A partir de los 90, también se desarrollaron experiencias en otros países, tales como Argentina, Brasil, Colombia, Guatemala y Perú. Los mayores niveles de producción comercial y consumo se han logrado en Brasil, ya que cuenta con una amplia población inmigrante procedente del sureste de

Asia. Estudios recientes del grupo de investigación (Martínez-Carrera 2000, 2002; Mayett *et al.*, 2006) indicaron que el producto importado, fresco y procesado de *L. edodes* ya tiene demanda considerable en los canales de comercialización nacionales y cuenta con alto potencial para su exportación a Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica. Aunque el *shii-take* japonés es el hongo comestible que proporcionalmente tiene todavía menor consumo en el país, su precio promedio al consumidor es el más alto en el mercado (USD \$ 8.79-10.34 dólares/kg). Esto debido a su reciente incorporación en el mercado nacional, principalmente vía importaciones, y a la escasa oferta en comparación con los champiñones (*Agaricus*, \$ 1.80-5.01 dólares/kg) y las setas (*Pleurotus*, \$ 2.07-6.68 dólares/kg). El 0.2% de los consumidores urbanos de hongos comestibles en la región central, la mayoría del nivel social medio y alto, consumen *shii-take* japonés. Esto equivale a un mercado potencial de USD \$ 351,320.27 dólares anuales a nivel país. Debe mencionarse que la demanda no está restringida únicamente al producto fresco, sino que los consumidores también demandan productos más elaborados, tales como platillos *gourmet*, platillos tradicionales cocinados, productos precocidos, suplementos, extractos y concentrados que contengan propiedades nutricionales y medicinales. En el contexto internacional, se estima que el mercado actual de los alimentos orgánicos, incluyendo suplementos alimenticios y medicinales, supera ya los 100 mil millones de dólares, principalmente en EUA, Canadá, Europa y Japón.

Hasta 2007, no se habían desarrollado en el país las investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas que establecieran la plataforma científica, tecnológica y de mercado para la producción comercial del “hongo de encino” o *shii-take* mexicano (*L. boryana*), a pesar de su amplio potencial de cultivo y de que puede representar una fuente potencial de novedosas propiedades funcionales. Esta especie forma parte de la amplia diversidad biológica de nuestro país y es consumida por las comunidades rurales. A continuación se describen los principales resultados de las investigaciones realizadas por los autores sobre *L. boryana*, durante 2008-2010, con el apoyo del proyecto FOMIX-76524 (CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla).

Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Esta investigación respondió a la demanda estatal “Área 1: Cadenas Alimentarias y Agropecuarias”, dentro de la Convocatoria 2007 del “Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla”. Con base en el análisis integral realizado para esta demanda, se concluyó que la Cadena Alimentaria Emergente de “Hongos Comestibles” requería de atención prioritaria, ya que se seleccionó considerando siete criterios principales aplicados a todas las cadenas del Estado, a saber: 1) Mercado, 2) Potencial competitivo, 3) Importancia social, 4) Importancia económica, 5) Nivel de organización de los productores, 6) Grupos formados de investigación y desarrollo, y 7) Tecnología generada e infraestructura disponible. De esta mane-

ra, se determinó la siguiente demanda específica: “8. Hongos Comestibles: Información, Innovación Tecnológica, Nuevos Negocios y Estrategias para impulsar la Competitividad de la Cadena de Valor”. La demanda consideró relevante impulsar el desarrollo y competitividad de esta cadena de valor emergente, tomando en cuenta que la mayor parte de la producción y procesamiento de hongos comestibles cultivados comercialmente en el país se lleva a cabo en los estados de México, Guanajuato, Jalisco, Puebla y Veracruz. La región donde se encuentra la ciudad de Puebla constituye un polo de desarrollo de ubicación estratégica y rápido crecimiento, con condiciones ambientales favorables para el cultivo de hongos comestibles y excelente infraestructura para el desarrollo empresarial en materia de recursos humanos, comunicaciones, mercado y turismo.

► **Objetivo general**

La investigación considera una duración de 36 meses (2008-2010) y tiene como objetivo principal desarrollar la base de conocimiento y el proceso biotecnológico escalable a nivel comercial para impulsar el cultivo competitivo de recursos genéticos nativos del hongo comestible *Lentinula boryana* (“hongo de encino”, *shii-take* mexicano) en Puebla, tomando como referencia al *shii-take* japonés (*L. edodes*). Asimismo, tratar de diversificar, incrementar e innovar la producción de hongos comestibles en México, enfatizando la producción orgánica intensiva y aprovechando el creciente nicho de mercado que ya existe para el *shii-take*, tanto en los canales de comercialización nacionales como en los mercados internacionales. En este sentido, se tuvo como meta analizar las propiedades funcionales de *L. boryana*, con el fin de desarrollar nuevos productos de alto valor agregado que permitan diversificar las alternativas de comercialización aparte del producto fresco.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

a. Diversidad de los recursos genéticos de *Lentinula boryana* (“hongo de encino”, *shii-take* mexicano)

En México, dada su megadiversidad biológica, existen abundantes recursos genéticos de hongos comestibles y medicinales, razón por la cual se debe fortalecer estratégicamente su conservación, estudio y utilización. *Lentinula boryana* (Berk. & Mont.) Pegler es un hongo comestible con gran potencial de cultivo comercial, el cual crece silvestre principalmente en el bosque mesófilo de montaña, también conocido como “bosque de niebla” y que se encuentra en peligro de desaparecer en México por su limitada distribución natural y nivel de deterioro. Diversas comunidades indígenas y campesinas del país aprecian y consumen *L. boryana*, especie que conocen con el nombre común de “hongo de encino”, ya que se desarrolla ampliamente sobre este sustrato (*Quercus*). Asimismo, se ha registrado su comercialización y venta en mercados populares (Villarreal y Pérez-

Moreno, 1989). A pesar de la importancia social y ecológica de *L. boryana* en México y América en general, existen pocos estudios sobre su fisiología, cultivo y propiedades funcionales (Mata *et al.*, 2001a; Peres de Carvalho *et al.*, 2007; De Faria *et al.*, 2007; De Faria, 2008).

Las investigaciones de campo permitieron recuperar recursos genéticos nativos de *L. boryana* recolectados en el bosque mesófilo de montaña de los estados Veracruz y Morelos (Figura 1). Asimismo, se logró integrar una muestra representativa de cepas comerciales del *shii-take* japonés (*L. edodes*) introducidas a México por diversos productores comerciales (Diagrama 1). Todas las cepas se encuentran actualmente depositadas en el Centro de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGENHC) del *campus* Puebla, Colegio de Postgraduados.

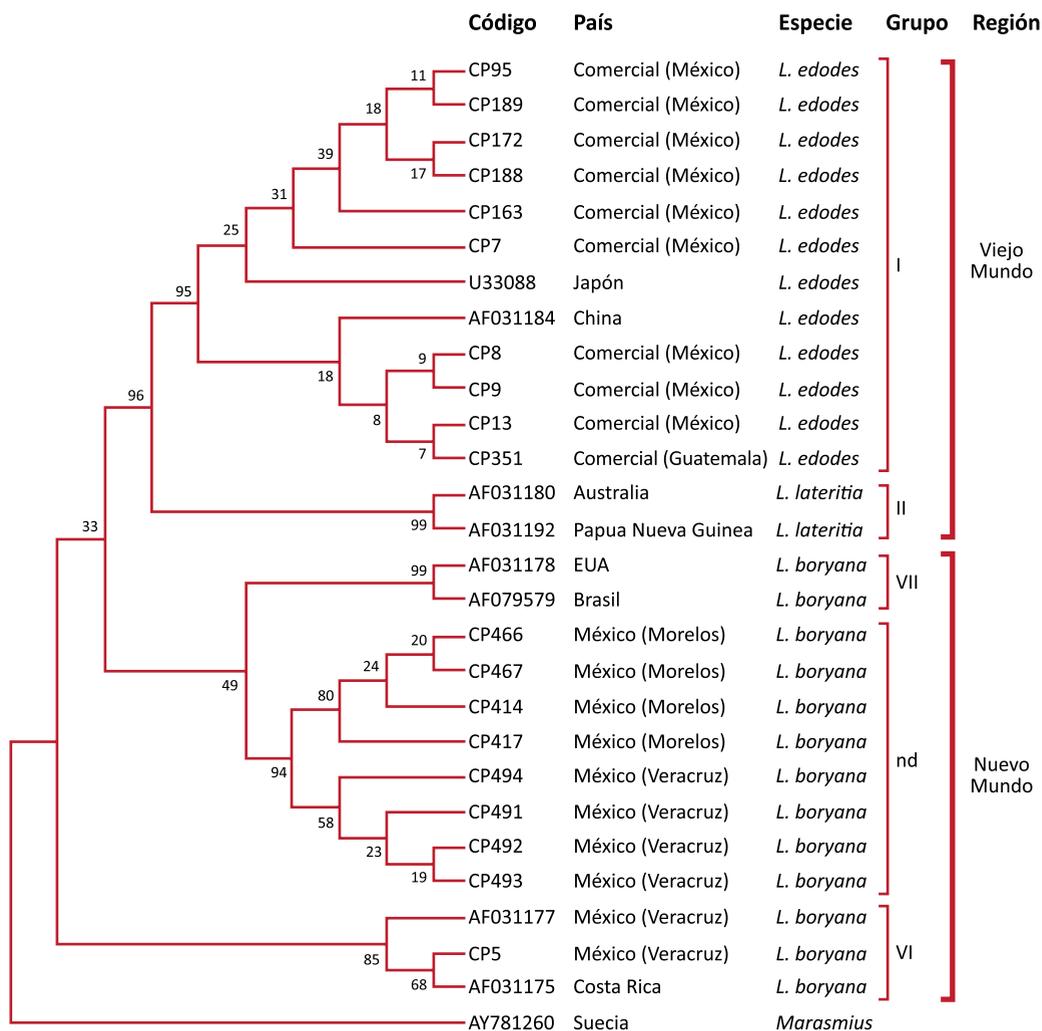
En el Diagrama 1 se muestran los cuerpos fructíferos silvestres de *L. boryana* y la identificación a nivel molecular de las cepas estudiadas, con base en el análisis de secuencias de la región ITS (*internal transcribed spacer*) del ADN ribosomal (ADNr). La reconstrucción filogenética por el método de máxima parsimonia (Swofford, 2000) reveló la pre-

Figura 1. *L. boryana* en los bosques mesófilos de montaña de México (*Shii-take* mexicano)



sencia de cinco linajes principales, empleando algunas secuencias de base de datos de *L. boryana* y *Marasmius* como referencia y grupo externo, respectivamente (*GenBank*, www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/); Esto permitió identificar que los recursos genéticos obtenidos en esta investigación constituyen un nuevo grupo filogenético, monofilético, de amplia diversidad representado por ocho poblaciones naturales de los estados de

Diagrama 1. Recursos genéticos nativos de *L. boryana* recolectados en Morelos y Veracruz, y cepas comerciales del *shii-take* japonés (*L. edodes*) introducidas a México



Veracruz y Morelos. Este grupo es independiente de los grupos VI-VII de *L. boryana* procedentes de Costa Rica, Brasil, México y EUA, así como de los grupos I-II de *L. edodes*, los cuales fueron considerados por Hibbett (2001) como del Nuevo Mundo y Viejo Mundo, respectivamente (Diagrama. 1). Por su parte, las cepas que se han importado a México con propósitos comerciales corresponden a genotipos procedentes de China y Japón. Su posible impacto sobre las poblaciones naturales de *L. boryana*, en caso de que las cepas escaparan del cultivo comercial, requiere de mayores investigaciones.

b. Proceso biotecnológico para la producción intensiva del hongo comestible *Lentinula boryana* (“hongo de encino”, *shii-take* mexicano) y sus productos

Se desarrolló un proceso biotecnológico eficiente para la producción orgánica intensiva de *L. boryana* (Figura 2). Una vez seleccionada la cepa nativa a cultivar, el método consiste en preparar un sustrato de crecimiento con base en subproductos agrícolas y forestales

Figura 2. Proceso biotecnológico para la producción intensiva del hongo comestible *Lentinula boryana* (“hongo de encino”, *shii-take* mexicano)

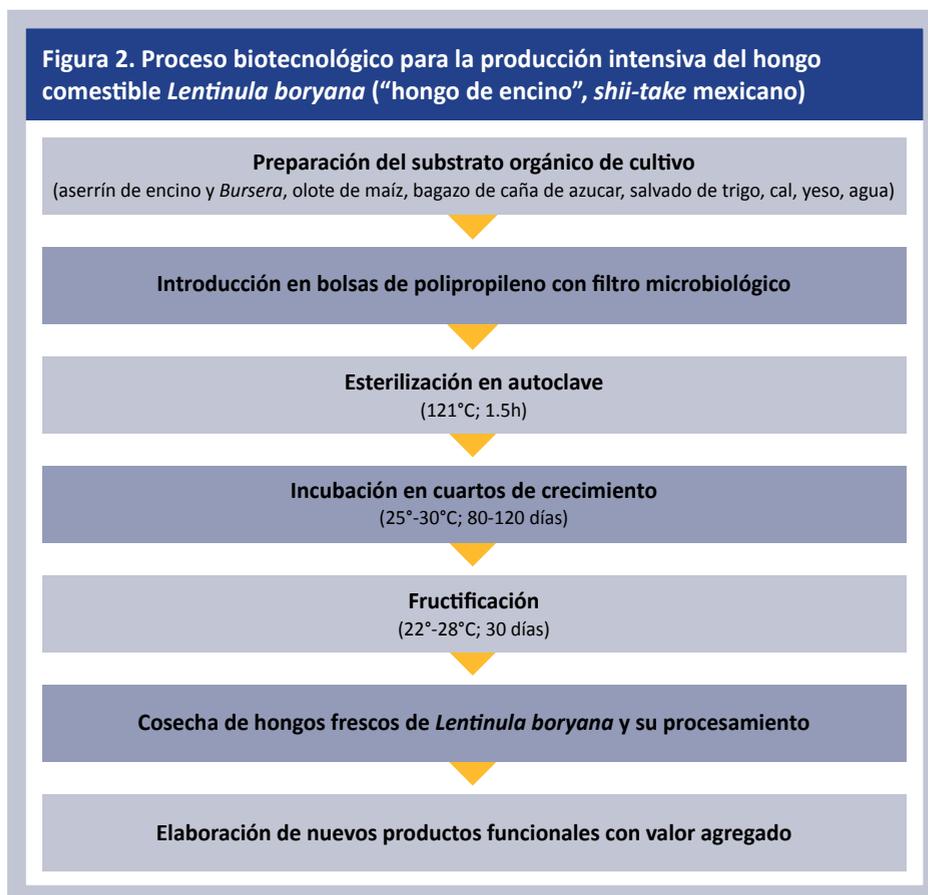


Figura 3. Cuerpos maduros del *shii-take* mexicano listo para cosecharse y comercializarse



regionales suplementados, que permiten la producción intensiva del *shii-take* mexicano. Los componentes principales de la formulación desarrollada por la presente investigación son el aserrín de encino (*Quercus acutifolia* Neé), el aserrín de *Bursera* [*B. simaruba* (L.) Sarg.], el olote de maíz (*Zea mays* L.), el bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), el salvado de trigo, cal $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, yeso $[\text{CaSO}_4]$ y agua. La combinación óptima de los componentes implica bajos costos de producción. El contenido de humedad del sustrato tiene un rango de 55-65%. El sustrato se introduce en bolsas de polipropileno y se esteriliza a 121°C por 1.5 horas. Las bolsas con aserrín estéril (ca. 3 kg peso húmedo) se inoculan con la “semilla” de shii-take mexicano, preparada en condiciones asépticas con granos de diversas gramíneas. Las bolsas inoculadas se trasladan a cuartos de incubación (25°-30°C) para favorecer el desarrollo del micelio. Después de 80-120 días, el sustrato colonizado se ha pigmentado irregularmente y se somete a condiciones de fructificación con mayor humedad (70-90%) y ventilación. Los cuerpos fructíferos maduros del *shii-take* mexicano están listos para cosecharse y comercializarse en forma fresca o procesada, 6-15 días después dependiendo de las condiciones ambientales (Figuras 3 y 4). La fructificación puede inducirse en 2-3 ocasiones por unidad de producción. En comparación

Figura 4. El *shii-take* mexicano puede comercializarse en forma fresca o procesada



con el proceso convencional de producción del *shii-take* japonés (*L. edodes*), las ventajas de este método son: 1) Período relativamente corto de fructificación; 2) No se requiere inducción térmica por inmersión en agua fría; 3) Baja incidencia del “moho verde” (competidor y parásito; *Trichoderma*); 4) No se requieren bajas temperaturas (13°-22°C) durante la fructificación; y 5) Buenos rendimientos por unidad de área en esta etapa, equivalentes a 54.4 kg de *shii-take* mexicano por tonelada de sustrato húmedo.

El escalamiento del proceso biotecnológico desarrollado requiere de un costo inicial de inversión en infraestructura, ya que se utiliza un sistema de esterilización a gran escala y área estéril para la inoculación del sustrato suplementado. Asimismo, se requiere de la correcta programación de los cuartos de incubación y fructificación, con base en ciclo y nivel de producción del *shii-take* mexicano. Aunque el sustrato utilizado tiene características netamente orgánicas, debe señalarse que la producción comercial de *shii-take* mexicano, con base en el proceso biotecnológico descrito, requiere de la certificación externa correspondiente para reclamar dicha propiedad.

c. Nuevos productos funcionales a base de *Lentinula boryana* (“hongo de encino”, *shii-take* mexicano) para la industria nacional

Bebida funcional sabor jamaica y manzana. Las bebidas desarrolladas se preparan con extracto acuoso *L. boryana*, tanto sabor jamaica (flor de jamaica seca, *Hibiscus sabdariffa* L.), como sabor manzana [fresca, ± 5.5 Brix en promedio; *Malus domestica* Borkh.), y agua purificada, entre otros ingredientes. La bebida funcional pasteurizada se envasa al vacío en botellas de polietileno (Figura 5) de varios tamaños (PET 250 ml, 500 ml, 1 L, 1 galón), quedando lista para consumirse en cualquier momento. También puede embotellarse en vidrio o envase *tetrapak* para aplicaciones industriales de gran escala y mayor vida de anaquel. Las características principales de las bebidas se muestran en la tabla 3, las cuales cubren las normas oficiales mexicanas para este tipo de productos (NMX-F233-1982, NOM-086-SSA1-1994, 092-SSA1-1994). La bebida funcional pasteurizada, sabor jamaica o manzana, contiene propiedades antioxidantes cuantificadas en 1,500-5,000 $\mu\text{g/L}$ de ácido gálico. También se estudió el nivel de aceptación social de la bebida funcional desarrollada (sabor jamaica o manzana), sus competidores y su posicionamiento en niños, jóvenes, y público en general, siguiendo las metodologías establecidas por los autores (Martínez-Carrera *et al.*, 2005, 2007; Mayett *et al.*, 2006). Los resultados demostraron que la bebida funcional tiene un alto nivel de aceptación en la población urbana estudiada ($n= 383$) de la región central de México. Los resultados específicos de la investigación se describieron en el registro de patente respectivo (Pérez Armendáriz *et al.*, 2009), el cual permitió concluir que el potencial de producción industrial de la bebida funcional es elevado.

Figura 5. Productos funcionales a base de *Lentinula boryana* (shii-take mexicano)



Propiedades funcionales para agregarse al tequila, otros mezcales y destilados de *Agave* convencionales. Hace aproximadamente dos siglos, en la región de Tequila, estado de Jalisco, México, se desarrolló un destilado de *Agave* que con el tiempo ha adquirido amplia aceptación y reconocimiento mundial. Actualmente, el tequila es una denominación de origen controlado, reconocido internacionalmente desde 1974 (NOM-006-SCFI-2005, www.economia.gob.mx/normas). Las investigaciones realizadas por el presente proyecto demostraron la posibilidad de incorporar propiedades funcionales específicas al tequila convencional para desarrollar el denominado tequila funcional (Martínez-Carrera *et al.*, 2009). Este tequila funcional tiene propiedades antioxidantes y antimicrobianas derivadas de *L. boryana*, así como de otros hongos comestibles, y cuenta con aceptación social y amplio potencial para ser producido industrialmente conforme a las normas establecidas. Las propiedades funcionales también son aplicables a otros mezcales y destilados de *Agave* convencionales. El tequila funcional se prepara agregando extracto alcohólico de *L. boryana* u otros hongos comestibles, dentro de un recipiente de vidrio o madera, para posteriormente envasar en botella de vidrio. Este tequila funcional cubre la norma oficial mexicana para este tipo de producto (NOM-006-SCFI-2005)

y contiene propiedades antioxidantes cuantificadas en 505 $\mu\text{g/L}$ de ácido gálico. Otras especies de hongos comestibles y medicinales proporcionan incluso valores más altos de propiedades antioxidantes, tales como *Ganoderma* y *Pleurotus*. Sin embargo, lo más relevante es que dicha propiedad se mantiene estable después de un año.

La actividad antimicrobiana del tequila funcional se realizó de acuerdo con la metodología estándar descrita por el *National Committee for Clinical Laboratory Standards*, EUA (NCCLS, 1994). Se utilizó como modelo la cepa bacteriana CPB-1 de *Escherichia coli* (Migula) Castellani and Chalmers, donada originalmente por la M.C. Margarita Arenas Hernández (Laboratorio de Biología Molecular de Enteropatógenos, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Los resultados de la prueba antibacteriana demostraron que el tequila funcional desarrollado (100% de *Agave*, reposado) inhibe el crecimiento de *Escherichia coli*, en las primeras concentraciones estudiadas. Su efecto disminuye a medida que se diluye la presencia del tequila funcional en los experimentos realizados con caldo estéril Mueller-Hinton. Por su parte, el tequila control convencional no inhibió el desarrollo bacteriano bajo las mismas condiciones de estudio. Sin embargo hubo inhibición significativa del crecimiento bacteriano (65.8%) al agregar el tequila funcional, con respecto al control positivo sin tequila. Se concluyó que el tequila funcional también tiene propiedades antimicrobianas, concretamente bacteriostáticas (a concentraciones de 0.1-100 μl del producto) para la cepa enteropatógena de *E. coli*.

Figura 6. Prueba de evaluación sensorial

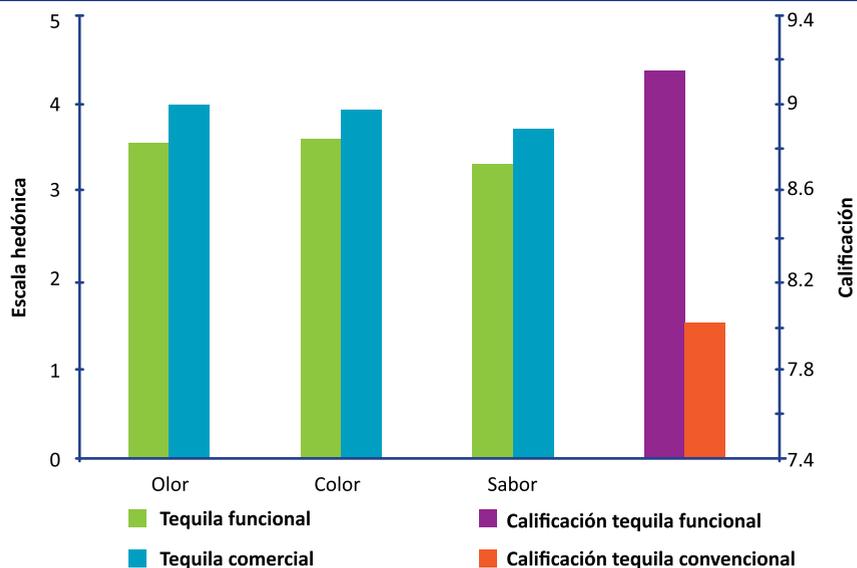


La aceptabilidad social del tequila funcional se estudió realizando una prueba de evaluación sensorial, considerando dos presentaciones: tequila “derecho” (solo) y tequila preparado como “cocktail Margarita” (Figura 6). Se siguieron las metodologías establecidas por los autores (Martínez-Carrera *et al.*, 2005, 2007; Mayett *et al.*, 2006). Las investigaciones realizadas permiten concluir que el potencial de producción industrial del tequila funcional es elevado, aunque todavía es necesario desarrollar diversos estudios básicos adicionales sobre el nuevo producto y sus propiedades. Se demostró que el nuevo tequila funcional, aunque difiere del tequila convencional en color, olor, sabor y propiedades funcionales, tiene aceptación social equivalente (Figura 7) y gran potencial de aplicación industrial. Las nuevas propiedades funcionales agregadas al tequila convencional abren una línea de investigación para analizar, caracterizar y establecer cualidades novedosas que brinden mayor aceptación social y valor agregado a este producto nacional.

► Productos entregados

- Un libro internacional: Martínez-Carrera, D., N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales y 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-UNSCONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla. 648 pp. 221 Figuras y 92 Tablas. ISBN 970-9752-01-4.

Figura 7. Aceptación social del tequila funcional



- b. Siete capítulos de libro.
- c. Un artículo en revista con arbitraje internacional.
- d. Dos registros de patente en el IMPI:
 - Martínez-Carrera, D., B. Pérez Armendáriz, Y. Mayett, M. Sobal, P. Morales, P. Ramírez y I. Tello. 2009. “Propiedades funcionales agregadas al Tequila, otros mezcales y destilados de Agave convencionales, derivadas del extracto de un hongo comestible de uso tradicional en México (*Lentinula boryana*)”. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, registro de patente IMPI-MX/E/2009/047387, julio 27.
 - Pérez Armendáriz, B., Y. Mayett, M. Sobal, P. Morales y D. Martínez-Carrera. 2009. “Nueva bebida funcional con propiedades antioxidantes elaborada con extracto acuoso de *Lentinula boryana*”. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, registro de patente IMPI-MX/E/2009/029032, mayo 19.
- e. Un graduado de nivel doctorado en ciencias y dos de nivel maestría en ciencias.
- f. Un posdoctorado apoyado por el CONACYT.
- g. Una estancia sabática apoyada por el CONACYT.
- h. Una estancia de investigación de estudiante doctoral becario del CONACYT en el extranjero (Alemania, Georg-August-University Gottingen).
- i. Un informe técnico detallado sobre el proceso biotecnológico controlado para la producción intensiva del “hongo de encino” o *shii-take* mexicano a pequeña y gran escala.

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

- a. Se determinó la gran diversidad de los recursos genéticos nativos de *Lentinula boryana* (Berk. & Mont.) Pegler, el “hongo de encino” o *shii-take* mexicano, y se propone fortalecer estratégicamente su conservación, estudio y utilización por su limitada distribución natural en los “bosques de niebla” de México.
- b. Existe un gran potencial para el cultivo comercial de *L. boryana*, en virtud de que es consumido por diversas comunidades indígenas y campesinas del país y de que tiene propiedades antioxidantes y antimicrobianas específicas. Esto representaría una importante diversificación para la industria nacional, particularmente para los productores y consumidores de hongos comestibles del estado de Puebla. Asimismo, representaría una novedosa alternativa para los mercados internacionales.
- c. Se desarrolló un proceso biotecnológico eficiente para la producción orgánica intensiva de *L. boryana* que puede ser escalado, siendo técnicamente factible y económicamente rentable.
- d. Se demostró el gran potencial de los recursos genéticos nativos para desarrollar bebidas y alimentos funcionales de alto valor agregado en México, en respuesta a la creciente demanda de los consumidores por nuevos productos y presentaciones de los hongos comestibles y medicinales.

► Literatura citada

Chang, S. T (1999). "Global impact of edible and medicinal mushrooms on human welfare in the 21st century: nongreen revolution". *International Journal of Medicinal Mushrooms* 1:1-7.

Chang, S. T (2002). "Past and present trends in the production of *Lentinula edodes* in Asia". Pp. 1-8. *Mushroom Biology and Mushroom Products*. Eds. J. E. Sánchez, G. Huerta y E. Montiel. WSMBMP-SMM-ECOSUR-UAEM, Cuernavaca, México.

Chang, S. T. y P. G. Miles (2004). *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, Environmental Impact*. CRC Press, Boca Raton. 451 pp.

De Faria, R. O (2008). "Análise de polissacarídeos e tirosinase de *Lentinula boryana* (Berk. & Mont.) Pegler: um macrofungo com potencial biotecnológico". Tesis Doctoral, Bioquímica do Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

De Faria, R. O., V. R. Moure, W. Balmant, M. A. Lopes de Almeida Amazonas, N. Krieger y D. A. Mitchell (2007). "The tyrosinase produced by *Lentinula boryana* (Berk. & Mont.) Pegler suffers substrate inhibition by L-DOPA". *Food Technology and Biotechnology* 45: 334-340.

Guzmán, G., D. Salmones y F. Tapia (1997). "*Lentinula boryana*: morphological variations, taxonomic position, distribution and relationships with *Lentinula edodes* and related species". *Reports of the Tottori Mycological Institute* 35: 1-28.

Hibbett, D. S (2001). "Shiitake mushrooms and molecular clocks: historical biogeography of *Lentinula*". *Journal of Biogeography* 28: 231-241.

Hibbett, D. S., K. Hansen y M. J. Donoghue (1998). "Phylogeny and biogeography of *Lentinula* inferred from an expanded rDNA dataset". *Mycological Research* 102: 1041-1049.

Hibbett, D. S., M. J. Donoghue, A. Tsuneda y Y. Fukumasa-Nakai (1995). "Phylogenetic diversity in shiitake inferred from nuclear ribosomal DNA sequences". *Mycologia* 87: 618-638.

Martínez-Carrera, D (2000). "Mushroom biotechnology in tropical America". *International J. of Mushroom Sciences* 3: 9-20.

Martínez-Carrera, D (2002). "Current development of mushroom biotechnology in Latin America". *Micología Aplicada Internacional* 14: 61-74.

Martínez-Carrera, D., B. Pérez Armendáriz, Y. Mayett, M. Sobal, P. Morales, P. Ramírez y I. Tello (2009). "Propiedades funcionales agregadas al Tequila, otros mezcales y destilados de *Agave* convencionales, derivadas del extracto de un hongo comestible de uso tradicional en México (*Lentinula boryana*)". Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, registro de patente IMPI-MX/E/2009/047387, julio 27.

Martínez-Carrera, D., D. Nava, M. Sobal, M. Bonilla y Y. Mayett (2005). "Marketing channels for wild and cultivated edible mushrooms in developing countries: the case of Mexico". *Micología Aplicada International* 17: 9-20.

Martínez-Carrera, D., M. Sobal, P. Morales, W. Martínez, M. Martínez y Y. Mayett (2004). *Los Hongos Comestibles: Propiedades Nutricionales, Medicinales, y su Contribución a la Alimentación Mexicana*. El Shiitake. COLPOS-BUAP-UPAEP-IMINAP, Puebla. 44 pp.

Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla y 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. In: *El Cultivo de Setas Pleurotus spp. en México*. J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata y H. Leal (Eds.). ECOSUR, México, D.F. 236 pp.

Mata, G., P. Delpéch y J. M. Savoie (2001a). "Selection of strains of *Lentinula edodes* and *Lentinula boryana* adapted for efficient mycelial growth on wheat straw". *Revista Iberoamericana de Micología* 18: 118-122.

Mata, J. L., R. H. Petersen y K. W. Hughes (2001b). "The genus *Lentinula* in the Americas". *Mycologia* 93: 1102-1112.

Mayett, Y., D. Martínez-Carrera, M. Sánchez, A. Macías, S. Mora y A. Estrada (2006). "Consumption *Journal of International* trends of edible mushrooms in developing countries: the case of Mexico". *Food and Agribusiness Marketing* 18: 151-176.

NCCLS (1994). *Performance Standards for Antimicrobial Disk and Dilution Susceptibility Tests for Bacteria Isolated from Animals*. M31-P, volume 14, no. 20. National Committee for Clinical Laboratory Standards, Villanova, PA, E.U.A.

Nicholson, M. S., B. A. Bunyard y D. J. Royse (1997). "Phylogeny of the genus *Lentinula* based on ribosomal DNA restriction fragment length polymorphism analysis". *Mycologia* 89: 400-407.

Peres de Carvalho, M., S. T. Van Der Sand, E. A. Ribeiro Rosa, J. C. Germani y N. Kazue Ishikawa (2007). "Investigation of the antibacterial activity of basidiomycetes *Lentinula boryana* and *Lentinula edodes*". *Biociências* (Porto Alegre) 15(2): 173-179.

Pérez Armendáriz, B., Y. Mayett, M. Sobal, P. Morales y D. Martínez-Carrera (2009). “Nueva bebida funcional con propiedades antioxidantes elaborada con extracto acuoso de *Lentinula boryana*”. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, registro de patente IMPI-MX/E/2009/029032, mayo 19.

Royse, D. J., T. W. Rhodes y J. E. Sánchez (2002). “Vacuum soaking of wood chip shiitake *Lentinula edodes* logs to reduce soak time and stimulate mushroom yield. Proceed”. IV International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, Cuernavaca, Mexico. 295-301 pp.

Singleton, V. L. y J. A. Rossi (1965). “Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents”. *American Journal of Enology Viticulture* 16: 144-158.

Swofford, D. L (2000). PAUP*. “Phylogentic analysis using parsimony (*and other methods)”. Version 4. Sinauer Associates, Sunderland, MA, U.S.A.

Thon, M. R. y D. J. Royse (1999). “Evidence for two independent lineages of shiitake of the Americas (*Lentinula boryana*) based on rDNA and β -tubulin gene sequences”. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 13: 520-524.

Vasiliauskas, R., E. Larsson, K.-H. Larsson y J. Stenlid (2005). “Persistence and long-term impact of *rotstop* biological control agent on mycodiversity in *Picea-Abies* stumps”. *Biological Control* 32: 295-304.

Villarreal, L. y J. Pérez-Moreno (1989). “Los hongos comestibles silvestres de México, un enfoque integral”. *Micología Neotropical Aplicada* 2: 77-114.



OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO DEL BAGAZO DEL CAFÉ POR EL MÉTODO CATALÍTICO¹

Ma. Griselda Corro Hernández²

► Introducción

Este proyecto tiene como fin combinar las riquezas de la tierra que tenemos, para lograr que nuestra población alcance un mejor nivel de vida. Esta meta se alcanzará fusionando los esfuerzos de quienes laboran la tierra y los esfuerzos de quienes buscan los caminos para encontrar las soluciones a través de la inteligencia y de los conocimientos.

Una de las riquezas más importantes que tiene nuestro país es el cultivo del café. La Organización Internacional de Café estima que en el ciclo 2010-2011 México cosechará 4.6 millones de costales de este producto (1 costal contiene 60 kilogramos). Sin embargo, la caída del precio internacional del café (Figura 1) ha profundizado la pobreza de las familias cafetaleras de nuestro país.

Contradictoriamente el precio que pagamos los consumidores de café ha mantenido una tendencia ascendente, generando mayores niveles de rentabilidad a la industria de transformación del café. Por lo tanto, es importante encontrar soluciones a los pequeños

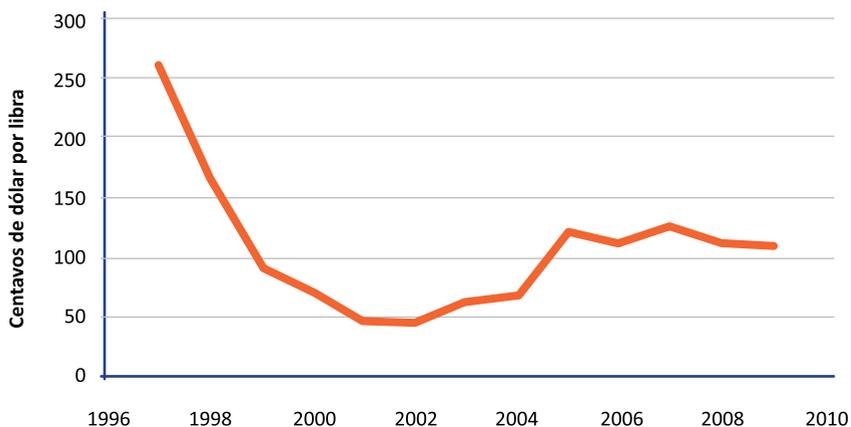
¹ Proyecto FOMIX: PUE-2007-01-76981

Monto aprobado y total: \$900,000.00

² De la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.



Figura 1. Evolución del precio internacional del café, en el mercado de productos básicos de Nueva York [1]



y medianos productores de café, quienes no reciben realmente el beneficio del valor comercial del café industrializado. Algunas soluciones al problema se pueden encontrar desarrollando tecnologías rentables que permitan el aprovechamiento con valor agregado a pequeña y gran escala de los subproductos del café (bagazo, pergamino, aguas residuales, bayas de café de desecho) que se producen a gran escala y que sólo generan problemas ambientales. Una tecnología que permitiría el aprovechamiento de los subproductos del café es la producción de biocombustibles a partir de los desechos vegetales producidos durante el beneficiado del café.

Por otro lado, debido a los recientes aumentos del precio del petróleo [3], la seguridad en el suministro se ha convertido en el tema más importante de solucionar en materia de energía. Una de las razones de este aumento de precios es el hecho de que los suministros de todos los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) están siendo cada vez más escasos y su producción más costosa [2-10]. En la Figura 2 se puede observar el aumento del barril de petróleo en los últimos años y en la Figura 3 se ve claramente que la producción mundial de petróleo disminuye en los últimos años.

Ante el problema del agotamiento de los combustibles fósiles y de la contaminación producida por la quema de los mismos, ante la necesidad de generar tecnologías rentables que permitan el aprovechamiento de los subproductos del café, se propuso este proyecto que permitirá generar biocombustibles a partir de los desechos vegetales producidos a gran escala.

Este proyecto permite la disminución del consumo de combustibles fósiles y la creación de fuentes de trabajo. A su vez, el proyecto permite la construcción de innovaciones tecnológicas en los campos de las ingenierías, la fisicoquímica, la biología y formación de recursos humanos en esos campos.

Figura 2. Precio del barril de petróleo en dólares en función del año [3]

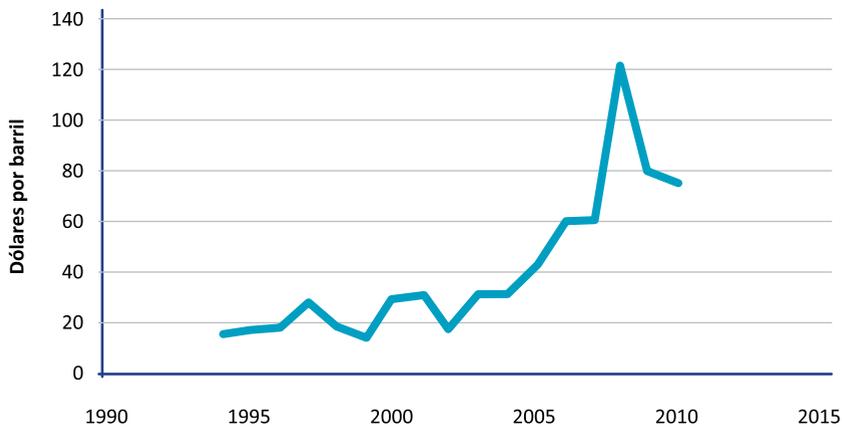
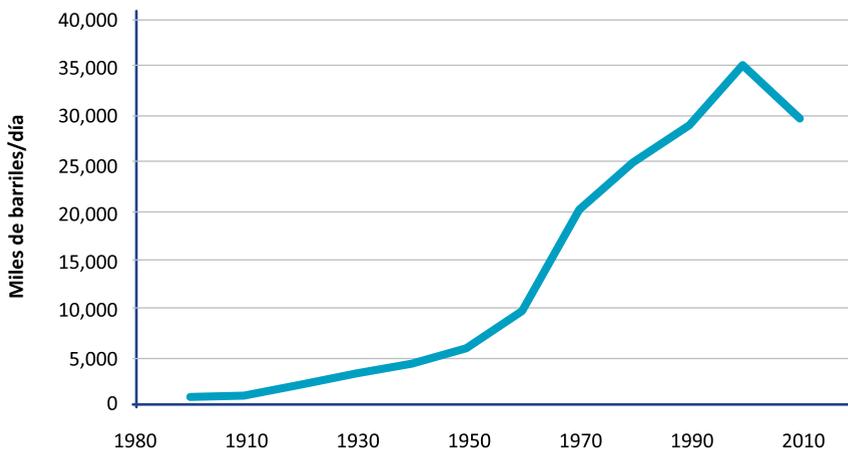


Figura 3. Producción de barriles de petróleo a través de los años [4]



► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Medio ambiente y recursos naturales

Café: Innovación tecnológica, nuevos negocios y estrategias para impulsar la competitividad de la cadena de valor.

► Objetivo general

Desarrollar una tecnología para la producción de biocombustibles a partir del bagazo del café y extrapolarla a otros materiales de desechos agrícolas. Esto permitirá el aprovechamiento con valor agregado de los subproductos del café (y otros cultivos) que actualmente generan únicamente problemas.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

1. Recolección del bagazo del café y de las bayas desechadas en el lugar de origen.

Se recolectaron el bagazo y las bayas de desecho del café en Huitzilán de Serdán en el estado de Puebla.

2. Instalación de los equipos solicitados para la realización del proyecto.

2.1. Instalación del sistema de análisis. El cromatógrafo solicitado fue instalado y puesto en funcionamiento con las columnas adecuadas para el análisis de la mezcla gaseosa producida por las diferentes etapas de la fermentación del bagazo del café (Figura 4).

Figura 4. Cromatógrafo de gases para el análisis de biogás



Figura 5. Cromatógrafo de gases para determinar la calidad del diesel y biodiesel



2.2. Instalación del sistema cromatográfico para el análisis de los aceites vegetales y el biodiesel obtenido del aceite de las bayas del café. En esta etapa se determinaron las condiciones de análisis cromatográfico que permiten relacionar las características fisicoquímicas del biodiesel y el diesel fósil (Figura 5).

2.3. Capacitación de los alumnos y técnicos al manejo de los nuevos equipos.

3. Preparación de los catalizadores para la transesterificación del aceite vegetal.

Los catalizadores estudiados en este proyecto son: sales de metales básicos sulfatados o no, en distintas proporciones metálicas (Figura 6). Los catalizadores son preparados por el método de la impregnación (interacción electrostática) del soporte con sales precursoras de metales (Figura 7). Las diferentes muestras son condicionadas por medio de la calcinación. Las muestras son sulfatadas y condicionadas antes de volver a ser caracterizadas por sus propiedades físicas y químicas.

4. Caracterización de los catalizadores.

- Determinación de las propiedades de adsorción de los catalizadores.
- Caracterización de los catalizadores por espectroscopia fotoelectrónica de rayos-X.
- Determinación de la composición elemental de los catalizadores.
- Estudio por espectroscopia FTIR de especies formadas durante las pruebas de caracterización de los catalizadores por sus actividades en las reacciones de eliminación de contaminantes.
- Estudio de la morfología de los catalizadores por microscopia electrónica de transmisión.
- Estudio de la presencia de compuestos formados durante las reacciones químicas prueba por la espectroscopia UV-Visible.

Figura 6. Materiales para la preparación de los catalizadores



Figura 7. Soportes para la preparación de los catalizadores



5. Obtención de Biogás. Esta parte del proyecto comprende dos etapas, las cuales se desarrollan paralelamente.

Primera etapa

En esta etapa se estudia la producción del biogás en condiciones primarias, es decir, sin cambio alguno de las condiciones naturales donde se encuentra el bagazo del café. Este estudio permitió determinar la eficiencia de los diferentes procesos desarrollados en el proyecto y optimizar las condiciones de producción de metano.

Segunda etapa

En esta etapa se estudió la producción del biogás en laboratorio. Para ello, se trajeron las muestras del bagazo del café al Laboratorio de Catálisis y Energía de la BUAP.

- Estudio de las emisiones de la digestión del bagazo del café en función de la temperatura. Este estudio se realizó analizando (por medio de la cromatografía de gases y la espectroscopia FTIR) cuantitativa y cualitativamente los gases generados por la fermentación del bagazo del café en función de la temperatura. Para que este desarrollo tecnológico sea de bajo costo, para elevar la temperatura, no se utilizó la energía eléctrica. La fuente de energía utilizada es la energía solar: un calentador solar fabricado en el Laboratorio de Catálisis y Energía.
- Estudio de las emisiones de la digestión del bagazo del café en función del pH (acidez) y del grado de hidratación de la mezcla (cantidad de agua necesaria para optimizar la fermentación).
- Estudio de las emisiones de la digestión del bagazo del café en función de los microorganismos determinados por el Laboratorio de Microbiología de la BUAP.

Figura 8. Biodigestor solar

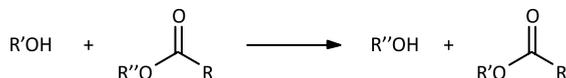


Figura 9a. Reactor solar para la obtención de biodiesel



6. Obtención del Biodiesel.

- Molienda de los granos desechados de café y extracción del aceite por disolución en solventes adecuados.
- Purificación del aceite obtenido.
- Eliminación de los ácidos grasos del aceite del café por medio de los catalizadores sólidos construidos en este proyecto
- Separación del catalizador por filtrado y condicionamiento para los ciclos de trabajo posteriores.
- Reacción de trans-esterificación del aceite vegetal utilizando catalizadores básicos, en presencia del alcohol escogido (metanol, etanol,...)
- Purificación del biodiesel obtenido (lavado, secado)
- Análisis del biodiesel según los requerimientos de las normas internacionales de calidad.



► Productos entregados

- Prototipo de biodigestor para la producción de biogás a partir del bagazo del café de alta eficiencia, utilizando la radiación solar como única fuente de energía (Figura 8).
- Proceso optimizado para la producción de biogás a partir del bagazo de café (condiciones óptimas de reacción, acidez, temperatura, reactivos).
- Prototipo de reactor para la obtención de biodiesel a partir de cualquier aceite vegetal utilizable a pequeña y gran escala (Figuras 9a y 9b). El sistema no requiere de la utilización de electricidad para llevar a cabo el proceso. La agitación se lleva a cabo con la energía transformada por un panel solar (Figura 10).
- Proceso catalítico y serie de catalizadores optimizados para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales a pequeña y mediana escala utilizando la radiación solar como fuente de energía.
- Sistema cromatográfico para la determinación de la calidad de biogás producido para su utilización y comercialización.
- Sistema cromatográfico para la determinación del biodiesel siguiendo las normas internacionales exigidas para su utilización y comercialización.
- Tesis para la obtención del grado de doctora en Ciencias (Nallely Téllez).
- Tesis para la obtención del grado de maestro en Ciencias (Rodrigo Saavedra).
- Tesis para la obtención del grado de ingeniero químico (Víctor Romero).

- Publicación de 3 artículos en revistas internacionales arbitradas e indexadas:
 1. Grisel Corro, Carlos Cano, J.L.G. Fierro. "A study of Pt-Pd/ γ -Al₂O₃ catalysts for methane oxidation resistant to deactivation by sulfur poisoning". *Journal of Molecular Catalysis A Chem.* 315(2010) 35-42. ISSN 1381-1169
 2. Grisel Corro, Nallely Téllez, Édgar Ayala, Alma Martínez Ayala. "Two step biodiesel production using SiO₂-HF solid catalyst for FFA esterification step". *FUEL* 89 (2010) 2815-2821. ISSN 0016-2361
 3. Grisel Corro, Edgar Ayala, Nallely Téllez, Mario M Bustillo, Ricardo Peña. "An investigation of the catalytic abatement of emissions from the combustion of diesel/bioethanol blends". *FUEL* aceptado. ISSN 0016-2361

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

Este proyecto genera la creación de valor y de fuentes de trabajo.

Beneficio tecnológico

- Se determinaron las condiciones óptimas de producción de biocombustibles, la instalación de biodigestores que permiten la generación de biogás a gran escala utilizando la radiación solar como única fuente de energía. Esta técnica no excluye el diseño y construcción de biodigestores pequeños aplicables en las casas para la obtención del biogás a pequeña escala.
- Cabe hacer notar la importancia que presenta la utilización de aceites vegetales para la obtención del biodiesel. El proceso optimizado en este proyecto permite producir biodiesel a pequeña escala reciclando los aceites vegetales comestibles usados a nivel doméstico.

Figura 9b. Reactor solar para la obtención de biodiesel



Figura 10. Panel solar adaptado al reactor solar para la producción de biodiesel



Beneficio social

- La utilización de materia prima que actualmente se desecha, permitirá:
 - La limpieza de los lugares donde se almacena. Dichos lugares, además de ocupar un espacio, son fuentes de proliferación de bacterias e insectos nefastos para la salud humana (moscas, mosquitos, etcétera) y de gran contaminación atmosférica (metano, CO, amoníaco, ácidos y otros compuestos peligrosos). Esta limpieza permitirá obtener un mejor nivel de vida social.
 - La construcción de biodigestores a pequeña y mediana escalas es una fuente de trabajo.
 - La recolección de la materia de desecho es una fuente de trabajo.
 - La investigación de los procesos de conversión de la materia de desecho del café en biocombustibles genera la formación de recursos humanos en los campos de la fisicoquímica, biología, bioquímica e ingenierías.

Beneficio económico

- La producción de biocombustibles (biogás, bioetanol y biodiesel) son fuentes de ingresos que pueden ser muy altos dependiendo de la eficiencia de la tecnología aplicada. Los biocombustibles generan energía para el calentamiento y funcionamiento de motores y turbinas.
- A pequeña escala la producción de biocombustibles se traducirá en una economía familiar.

Referencias

1. New York Board of Trade, Página *web* oficial: http://www.coimaitaly.com/downloads/Cat_ING_SPA_POR_.pdf
2. Plugging the gap, RES/GWEC 2006.
3. <http://www.oil-price.net>
4. HIS 2003, BP Stat Rev. (2004): LBST estimate on Jan-Aug data. Analysis and Forecast LBST.
5. B. Johansson, *Transport and Environment* 1 (1996) 47.
6. M. Dalermo, Swedish Institute of Agricultural Engineering (1998).
7. M. Berglund, P. Borjesson, *Environmental and Energy Systems Studies*, Lund University (2003).
8. P. Borjesson, M Berglund, Report 45 Lund University (2003) (Sweden).
9. <http://www.monsal.com>
10. <http://www.waste.nl>. Retrieved 25.10.07.



QUERÉTARO

OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS PARA BOLSAS BIODEGRADABLES UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DE EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA¹

MC Tomás Galicia García y Dr. Fernando Martínez Bustos²

► Introducción

El uso de fuentes naturales en el desarrollo y la obtención de plásticos biodegradables es un tema que ha sido de interés en años recientes por parte del sector industrial y de investigación en México, ante los graves problemas ambientales generados al finalizar la vida útil de los plásticos elaborados a partir de resinas sintéticas. Fácil acceso, bajo costo y alta incorporación al medio ambiente son características que presentan diversas fuentes naturales como es el caso de cereales y tubérculos (Colla *et al.*, 2006), cuyo principal componente es el almidón, que es un homopolímero de D-glucopiranosas unido por enlaces -1-4 en su parte lineal, y -1-6 en los puntos de ramificación, que mediante la inclusión de grupos funcionales (modificaciones químicas), y el cambio de la proporción lineal-ramificada (modificación genética) puedan proporcionar al almidón nativo una mayor funcionalidad y aplicación (Thomas y Atwell, 1997). La incorporación de residuos lignocelulósicos provenientes de co-productos agrícolas, representan un fuerte potencial como refuerzo en películas biodegradables, llegando a ser comparadas

¹ Proyecto FOMIX: QRO-2005-C01-16059

Monto aprobado y total: \$200,000.00

² Ambos pertenecen al Centro de Investigación y de Estudios

Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Querétaro.

por su baja gravedad específica con otras fibras sintéticas (Netravali, 2005), como es el caso del bagazo de caña de azúcar, que en conjunto con el uso de plastificantes (polioles) favorecen las propiedades mecánicas de películas a base de almidón (Peijs, 2002).

Procesos tecnológicos versátiles, de eficiencia energética y con ausencia de efluentes como el de extrusión-calandrado (Mian, 2000; Guy, 2001) en donde el almidón nativo o modificado, en conjunto con el plastificante, temperaturas de proceso y efecto de fuerza de cizalla durante su procesamiento favorecen la orientación molecular, incorporación de agua dentro del gránulo, hinchamiento y, por consiguiente, la termoplastificación del mismo (Laratonda, 2004), permiten que sea posible el desarrollo de películas a base de fuentes de origen renovable, y que su procesamiento se realice en el mismo equipo utilizado en resinas plásticas (Plantic, 2007), lo cual hace que el intercambio y escalamiento de la tecnología pueda darse a bajo costo y en corto tiempo.

En películas obtenidas en el presente trabajo a través de ensayos experimentales y la caracterización en sus propiedades mecánicas, fue posible la selección de un grupo reducido de tratamientos para ser caracterizados mediante análisis físicoquímicos, térmicos y microestructurales necesarios para comprender de una forma más completa la funcionalidad de estos materiales, en el desarrollo y elaboración de bolsas a partir de almidón termoplástico.

Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

El alto grado de contaminación presente en el medio ambiente es generado, en gran parte, por desechos plásticos provenientes de bolsas elaboradas con polímeros sintéticos. Se estima que cada habitante en el país consume cerca de 30 mil millones de bolsas al año que, en conjunto con otros residuos plásticos, llegan a representar un grave problema de contaminación del suelo, agua y aire; además de dificultar el manejo de residuos por su baja densidad (Hernández, 2009). En el estado de Querétaro, el panorama no es muy alentador. Ahí, se estima alrededor de medio kilogramo de residuos sólidos por habitante al día, donde cerca de 10% corresponde a bolsas de polietileno. Son diversas las alternativas que se han planteado tanto a nivel nacional como estatal para frenar esta problemática; sin embargo, existen fuertes limitantes como la presencia de residuos plásticos en combinación con otros desechos o reactivos (alimentos, tintes) que dificultan su reciclaje, e incrementan su costo de reprocesamiento (Ruiz, 2006), falta de infraestructura para la recolecta, manejo y procesamiento, aunado todo esto a la falta de concientización por parte del consumidor en donde se da un uso indiscriminado de las bolsas de plástico (Alcántara, 2009).

En la actualidad, el apoyo y difusión que realiza el sector público en el intercambio de materias primas para la elaboración de bolsas a partir de fuentes naturales al ser

utilizados en los principales puntos de distribución (supermercados, tiendas y tianguis) representa una alternativa de alto impacto, reflejado en la disminución de la inversión en planes antes empleados (reciclado, reuso y reprocesamiento).

El desarrollo de materiales a base de fuentes naturales representa una alternativa ante la problemática existente de la generación de residuos sólidos a base de bolsas plásticas, ya que una vez finalizada su vida útil presentarían una fácil reintegración al medio ambiente en corto tiempo, debido a una alta depolimerización originada por factores ambientales (humedad, luz, aire), para finalmente ser degradadas hasta CO_2 y CH_4 por la acción microbiana (Agusti, 2004). A través del procesamiento de estos materiales en los mismos equipos en donde son procesados los plásticos de manera comercial, hace que el intercambio del material en desarrollo por la resina sintética utilizada sea viable, económica y que la transferencia en el escalamiento a nivel industrial se dé en corto tiempo, siendo el sector industrial del procesamiento de plásticos de la región uno de los principales usuarios de la tecnología que se desarrolla en el presente trabajo.

La necesidad por parte del consumidor de contar con una cultura por el medio ambiente, así como del sector educativo por contar con apoyos para la investigación, fomenta la obtención de nuevos materiales que sean desarrollados y mejorados para aportar parte de la solución de una necesidad existente para la sociedad y el medio ambiente.

► **Objetivo general**

El objetivo del presente trabajo fue la obtención de películas a base de almidón de maíz, papa y maíz waxy nativos y almidón de maíz fosfatado, por el proceso de extrusión-calandrado, así como la caracterización en sus principales propiedades mecánicas, térmicas y microestructurales.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

Materias primas.- Almidones de maíz y papa nativos grado alimenticio (Almex, México DF), almidón de maíz waxy (alto contenido de amilopectina) y almidón fosfatado se utilizaron con fuente de almidón; bagazo de caña de azúcar (Zafra 2005, Veracruz, México) como fuente de fibra y un plastificante (Sigma-Aldrich, Alemania). El tipo de almidón y las cantidades utilizadas se establecieron de acuerdo con los mejores tratamientos de los diseños experimentales de trabajos previos (Galicia-García, *et al.*, 2007). La fibra de caña se molió en un molino de martillos (Pulvex) con malla de 0.5 mm, y posteriormente se colocó en una serie de 5 mallas de tamices US números 20 (841 m), 40 (420 m), 60 (250 m), 80 (177 m), 100 (149 m) y fondo, en equipo de agitación (Rotap, RX-29-Tyler Inc., EUA) y se seleccionó la fibra de tamaño intermedio (tamices US número 40 y 60). La fibra fue tratada químicamente para disminuir el diámetro de tamaño de la fibra. Este tratamiento

a la fibra se realizó con la finalidad de establecer las condiciones de una hidrólisis controlada en los materiales lignocelulosicos de la fibra para desempaquetar la estructura en miofibrillas con un diámetro menor a 250 m (Wyman *et al.*, 2005). Finalmente fue tamizada usando una malla US 60.

Acondicionamiento de la muestra.- El proceso de paletizado de la muestra se realizó en un extrusor compacto del CINVESTAV Querétaro, México. Las temperaturas de extrusión de las zonas 1 y 3 permanecieron constantes, mientras que la temperatura de la zona 2 se mantuvo a mayor temperatura, con la finalidad de compactar el material y facilitar su traslado y procesamiento posterior de extrusión-calandrado.

Proceso de Extrusión-Calandrado.- Las muestras peletizadas fueron procesadas en el laboratorio de extrusión del Centro Catalán del Plástico en la Universidad Politécnica Cataluña, *Campus* Terrassa, España. El proceso de extrusión se realizó en una coextrusora marca COLLIN, Modelo E16 T, con una relación del tornillo diámetro-longitud 16/25 y una relación de compresión 1:1. El proceso de calandrado se llevó a cabo en el equipo COLLIN, Teachline Modelo CR72T, con tres rodillos en posición vertical y un rodillo en la sección de tracción. Las condiciones de proceso utilizadas fueron: a) velocidad de rodillos 10-30 rpm, b) temperatura de rodillos: 10°C, c) velocidad rodillo de tensión: 14-20 rpm.

Caracterización y resultados

Propiedades Mecánicas

Las probetas elaboradas (Tipo IV) fueron caracterizadas en sus principales propiedades mecánicas: Resistencia máxima a la tracción (máx.), Alargamiento a la ruptura y módulo de elasticidad (E) con base en norma (ASTM-D638-00).

Muestras con fibra presentaron un incremento en los valores de máx. (15- 40%) y E (10-30%), esto es debido principalmente a la orientación que presenta la fibra en sentido longitudinal al flujo de proceso, a diferencia de los tratamientos sin fibra en donde se presentó un ligero decremento en los valores debido al anclaje que presentó la fibra tratada en la matriz de almidón, indicando que la fibra utilizada sirvió de refuerzo mecánico en las películas obtenidas por el proceso de extrusión. La muestra con almidón fosfatado presentó valores más cercanos a los tratamientos con fibra, debido a que mediante la incorporación de grupos de fosfato, la película incrementó el número de enlaces secundarios favoreciendo, así, sus propiedades mecánicas (Landerito y Wang, 2005).

Propiedades fisicoquímicas

Se determinó densidad en sólidos de acuerdo con técnica (DS) (Mettler-Toledo GMBH, 1998), y aspecto visual (AV) (Canhadas, 2003).

Para la DS fueron obtenidos valores dentro de un rango de 1.40 a 1.45 g/cm³, con un ligero incremento en los tratamientos que presentaron fibra, guardando estrecha relación con los valores reportados por Baldev *et al.* (2004) en películas a base de almidón para uso alimenticio, existiendo una diferencia en películas de polietileno de baja densidad (0.9 g/cm³). Con respecto a la respuesta AV, se observaron películas de aspecto homogéneo, de coloración oscura para tratamientos con fibra, y blanquecina para tratamientos sin fibra, con una continuidad sin la presencia de rupturas o regiones quebradizas.

Propiedades microestructurales y térmicas

Fue determinada la viscosidad de retrogradación (Vrt) de acuerdo con metodología reportada (Zazueta-Morales *et al.*, 2001), Microscopia electrónica de barrido (MEB) y Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) (Zazueta-Morales, 2003).

En la caracterización de Vrt se presentaron incrementos en los tratamientos a base de almidón de papa, debido principalmente al tamaño y configuración presente de los gránulos de almidón que, al ser procesados mediante la acción conjunta de calor y trabajo mecánico por el proceso de extrusión, favoreció la interacción entre el plastificante y las cadenas de almidón a través de los enlaces de hidrógeno (Zhang y Han, 2006), efecto que se ve marcado al disminuir la reestructuración de las cadenas lineales de amilosa y ramificadas de amilopectina, lo que se traduce en una película con mayor flexibilidad (Pushpadas *et al.*, 2009).

Para el análisis de MEB, a través de las vistas superficiales (350X) se observó un acabado superficial más homogéneo al paso de la película por la calandra (Figura 1 a,b), así como la escasa presencia de gránulos de almidón siendo un indicador de que el almidón se encuentra plastificado. Mediante las vistas transversales (150X) se observó la presencia de fibra orientada e inmersa dentro del espesor de la película, por lo que al cortar la película de forma irregular se presentó un desgarramiento de la fibra, así como la presencia de marcas en su periferia, indicando la fuerte adhesión entre la fibra y la matriz polimérica (Figura 1 c,d) (Trindade *et al.*, 2005).

En los análisis de CDB se presentó en muestras sin fibra una inflexión a temperatura de 95-140°C, debido principalmente a la pérdida de agua mediante su evaporación, en comparación con las muestras con fibra en donde se presentó un efecto menos marcado, producto de la naturaleza hidrofílica de la muestra, la cual ejerció un efecto protector; para 160°C se observó un segundo comportamiento relacionado con la descomposición del plastificante (Álvarez *et al.*, 2005). A temperaturas de entre 20 y 100°C fueron analizadas las variaciones de las capacidades caloríficas (Cp), por lo que al presentarse diferencia entre los valores obtenidos de Cp fueron establecidos valores relacionados con la temperatura de transición de segundo orden (Tg) en un rango de 45 a 62°C,

relacionada con la presencia de una excitación molecular, producto de la movilidad en las cadenas poliméricas (Seibo, 2003).

► Productos entregados

Con el uso de una selladora para bolsas (Food Saber Tilia International, modelo VAC350, China) se realizó el ensamble de los extremos de una hoja de película para la formación de bolsas. Se utilizó una distancia margen de 5mm del extremo al sellado de la bolsa; con ayuda de una pipeta Pasteur se incorporó agua para facilitar la transferencia de calor entre los dos lados opuestos de la película. Una vez realizado el sellado, fueron cortados y delineados los márgenes exteriores, obteniendo así las bolsas a base de almidón por el proceso de extrusión-calandrado.

A través del presente trabajo se ha participado en la modalidad oral en congresos nacionales (XX Congreso de la Sociedad Polimérica de México) y en la modalidad de cartel en congresos nacionales (XX Congreso de la Sociedad Polimérica de México, VI Congreso del Noroeste y II Nacional en Ciencias Alimentarias y Biotecnología –con el reconocimiento de 2º lugar–, Expo-INCYTAM) e internacionales (1er Congreso Internacional de Ingeniería y Biotecnología 2008, 1st US-Mexico Symposium on Advances in Polymer Science, 2º Encuentro Iberoamericano de Biometría y V Reunión Centroamericana y del Caribe de la Sociedad Internacional de Biometría –también 2º lugar– y 8º Simposio Latinoamericano de Ciencia de Alimentos).

Asimismo, se ha publicado en revistas de difusión científica (*Revista Cinvestav*. (26), 4: 25-31. ISSN 18705499).

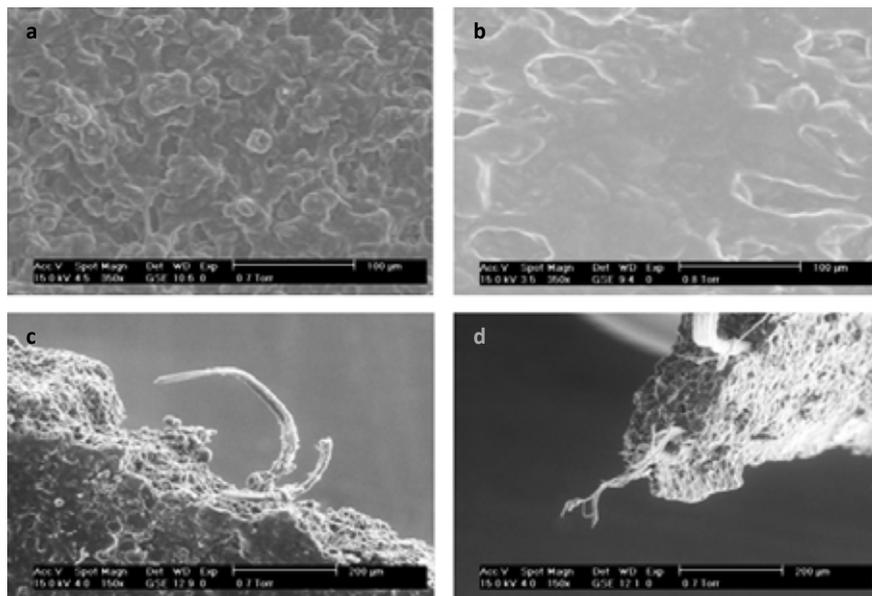
► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

El proceso de extrusión-calandrado representó una tecnología eficaz para la obtención de películas a través de fuentes naturales como el caso de almidón de maíz, papa y maíz waxy, así como bagazo de caña de azúcar con fuente de fibra. Las propiedades mecánicas (máx. y E) evaluadas en películas obtenidas por el proceso de extrusión se vieron favorecidas a concentraciones intermedias de fibra. Agentes externos como temperatura y trabajo mecánico proporcionados durante el proceso de extrusión en conjunto con el plastificante y la fibra, favorecieron la interacción con las cadenas poliméricas de almidón y, por ende, su plastificación.

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas indicaron que las películas obtenidas no presentaron una degradación ocasionada por las condiciones de proceso, por lo que el material obtenido presenta funcionalidad. Las propiedades microestructurales (Vrt y

MEB) están estrechamente relacionadas con la interacción existente entre el almidón y el plastificante, así como el anclaje presente entre la fibra acondicionada y la matriz polimérica. A través del análisis de CDB fue posible cuantificar temperaturas de transición de segundo orden con base en la variación de su capacidad calorífica.

Figura 1. Microscopia electrónica de barrido en películas obtenidas por el proceso de extrusión (MEB). Vista superficial: a) película extrudida, b) película extrudida y calandrada. Vista transversal: c) fibra embebida dentro del espesor de la película, d) marcas en matriz de almidón y desgarramiento en fibra



Referencias bibliográficas

Agusti (2004). *Actuaciones ambientales. Manual del profesor*. Forum, Barcelona.

Alcántara, L. (2009). "Bolsas de plástico envenenan al país". *El Universal*. Lunes 16 de Febrero de 2009

Baldev, R; Udaya, SK, & Siddaramaiah (2004). "Low density polyethylene/ starch blend films for food packaging applications", *Advances in Polymer Technology*, 23(1):32-45.

Canhadas Bertran, L. (2003). "Desenvolvimientto e Caracterizacao de Filmes Simples e Compostos a base de galatina, Àcidos Graxos e Breu Branco". Dissertacao de Mestre em Alimentos e Nutricao. Campinas, SP.Brasil.

Colla, E.; Sobral, P.J.; Menegalli, F.C. (2006). "Amaranthus cruentus flour edible films: Influence of stearic acid addition, plasticizer concentration and emulsion stirring speed on water vapor permeability and mechanical properties". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54, 6645-6653.

Galicia-García, T., Martínez-Bustos, F. Jiménez-Arévalo, O. A., y Aguilar-Palazuelos, E. (2007). "Mechanical properties of extruded biodegradable films of native starch and sugar cane fibre", pp. 263-278, Chapter 9. En: Terrance P. Klening Ed. *Food Engineering Research Developments*. New York, Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 1-60021-906-3.

Guy, Robin. 2001. *Extrusión de alimentos*. Zaragoza (España), Editorial Acribia.

Hernández, C. (2009). Comunicado de prensa. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. México, DF.

Landerito, AN, and Wang Ya-Jane (2005). "Preparation and properties of starch phosphates using waxy, common, and high-amylose corn starches. II. Reactive extrusion method". *Cereal Chem*, 82(3): 271-276.

Larotonda, FDS; Matsui, KN; Soldi, V y Laurindo, JB (2004). "Biodegradable films made from raw and acetylated cassava starch". *Braz. Arch. Biol. Techn.* 47(3):477-484.

Martínez-Bustos, F., Galicia-García, T., Aguilar-Palazuelos, E., y Jiménez- Arévalo, O.A. "Fabricación de películas para elaboración de bolsas desechables biodegradables con el uso de almidón y fibra de bagazo de caña". *Revista Cinvestav*. Vol. 26, No. 4, pp. 25-31. ISSN 18705499.

Mettler-Toledo (1998). *Instrucciones de manejo de balanza Mettler Toledo, mod 33360-210260*. Mettler-Toledo GMBH, Laboratory & Weighing Technologies. Greifensee, Switzerland.

Mian N.R. (2000). *Extruders in Food Applications*. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania USA.

Netravali, Anil N. (2005). "Biodegradable and susttainable fibres" (chapter 9), in *Biodegradable natural fiber composites*. Woodhead Publishing limited. Cambridge, England.

Paschall, E.F. (1964). "Phosphorylation with inorganic phosphate salts. Methods carbohydr". *Chem*. 4: 296.

Peijs. T. (2002). e-Polymers T002.1

Plantic Technologies Ltd. (2007). *Biodegradable lethal ovitrapar*. Melbourne.

Pushpadass, H., Marx, D., Wehling, R., and Hanna, M. (2009) "Extrusion and Characterization of starch Films". *Cereal Chem* 86(1): 44-51.

Ruiz Avilez, G. (2006). "Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca". *Ingeniería y Ciencia*, 2(4): 5-28. ISSN 1794-9165

Seibo, L. (2003). "Desenvolvimiento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo proceso de extrusão: avaliação das propriedades mecánicas, térmicas e de barreira". Tesis de doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP. Campinas Brasil.

Thomas, DJ y Atwell, WA (1997). *Starches, practical guides for the food industry*. Eagan press. St. Paul, Minnesota, USA.

Trindade, G.W., Hoareau, W., Megiatto D.J., Razera, I.A.T., Castellan, A., and Frollini, E. (2005). "Thermoset Phenolic Matrices reinforces with Unmodified and Surface=Grafted Furfuryl Alcohol Sugar Cane Bagasse and Curaua Fibers: Properties of Fibers and Composites". *Biomacromolecules*, 6, 2485-2496.

Zazueta-Morales JJ, Martínez-Bustos F, Jacobo-Valenzuela N, Ordorica-Falomir. C y Paredes-López O. (2001). "Effect of the addition of calcium hydroxide on characteristics of extruded products from blue maize (*Zea mays* L.) using response surface methodology". *J. Sci. Food. Agric*. 81:1379-1386.

Zazueta-Morales, J. (2003). "Extrusión de maíz (*Zea mays* L.) azul: efecto del hidróxido de calcio sobre las propiedades fisicoquímicas y funciones". Tesis de doctorado. Programa de posgrado en alimentos del centro de la República. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Santiago de Querétaro, México.



ESTADO ACTUAL DE LA FLORA Y LA VEGETACIÓN NATIVA DEL MUNICIPIO DE QUERÉTARO Y ZONA CONURBADA¹

Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas²

► Introducción

La vegetación del estado de Querétaro ha sido estudiada en cierto detalle a partir de la década de los 90 por diferentes autores, como Zamudio *et al.* (1992), quienes encontraron 9 tipos de vegetación principales con 9 subtipos. En cuanto a la flora, se sabe que Querétaro, a pesar de ser un estado pequeño, alberga una flora que se calcula en 3,500 especies de plantas vasculares, más rica que toda la Península de Yucatán.

Para el municipio de Querétaro, Baltazar *et al.* (2004) encontraron en el Cimatario cuatro tipos de vegetación (bosque tropical caducifolio, matorral crasicaule, pastizal y bosque de encinos) y una flora de 180 especies. Para la microcuenca de Santa Catarina, Hernández *et al.* (2000) encontraron los mismos cuatro tipos de vegetación, una flora de 100 especies nativas y 10 cultivadas. En la zona conurbada de La Cañada, que presenta la misma vegetación que las anteriores más una zona riparia, Cabrera y Gómez (2005)

¹ Proyecto FOMIX: QRO-2006-C01-52435

Monto aprobado y total: \$597,600.00

² Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Querétaro.



encontraron 264 especies. En nuestra propuesta, calculamos que la flora de Querétaro y sus zonas conurbadas alberga una riqueza de alrededor de 500 especies de plantas nativas y naturalizadas, tanto de la vegetación natural, como de malezas ruderales y arvenses. Entre éstas se encuentran aún especies nuevas para la ciencia, algunas microendémicas y otras de distribución más amplia. Muchas son útiles y se pueden introducir en programas de restauración y mantenimiento.

Uno de los principales problemas para los programas de conservación, educación, elaboración de estudios de impacto y otros más, es que las especies son desconocidas por la mayoría de las personas, e incluso por muchos biólogos.

El crecimiento exponencial de la población que ha sufrido el valle de Querétaro, tanto en el municipio de Querétaro como en Villa Corregidora, y la zona de La Cañada en el municipio del Marqués, ha propiciado un desmonte acelerado, así como la pérdida de grandes áreas de cobertura natural. Esta pérdida de cobertura y las fuertes alteraciones de las pocas áreas que se mantienen con vegetación, han propiciado importantes escurrimientos de agua en tiempo de lluvias, escasa penetración a los mantos freáticos, erosión hídrica y eólica y falta de zonas verdes para los pobladores, que actualmente están muy por abajo de los 12 m² por habitante recomendados por UNESCO. Además, existen otras fuentes de perturbaciones importantes como zonas de cultivo abandonadas, pastoreo por cabras, extracción de materiales, incendios, extracción de productos forestales (como frutos de cactáceas, plántulas, musgos, etc.) que afectan los pocos relictos de vegetación nativa que quedan.

Todos estos servicios ambientales de la vegetación se han reconocido recientemente y se pueden establecer pagos a las personas dispuestas a conservar.

► **Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal**

Modalidad de investigación aplicada, demanda 1.3 de la convocatoria 2006-1: Respuesta de la vegetación nativa a las alteraciones antropogénicas en la zona del valle de Querétaro y sus áreas de influencia.

► **Objetivo general**

Conocer el estado actual de la vegetación nativa en el área de la Ciudad de Querétaro y su zona conurbada, así como difundir el uso y estado de conservación de las especies de plantas vasculares que crecen en el área de estudio.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

Por medio de imágenes de satélite se detectaron las zonas con vegetación nativa del área de estudio. También se revisaron los herbarios con colecciones de Querétaro (Centro Regional del Bajío del Instituto de Ecología, Biología de la Universidad Autónoma de Querétaro), las bases de datos de la CONABIO y Trópicos, así como los fascículos publicados a la fecha de Flora del Bajío. A partir de estos antecedentes se generó un listado preliminar de las plantas vasculares que crecen en el área. Las zonas con vegetación natural se colectaron y se hicieron transectos para analizar la vegetación. También se tomaron fotografías de las plantas en campo, con detalles de las flores y los frutos. Esta etapa del proyecto duró aproximadamente un año y en ella participaron 4 estudiantes, así como un auxiliar contratado, además de los 4 integrantes del equipo original.

La siguiente etapa consistió en determinar el material colectado, analizar los transectos de vegetación y elaborar la página de Internet, por medio de la cual se dieran a conocer los resultados de una manera rápida. La página se elaboró por medio de pago por servicio. Al usuario del proyecto se le entregaron los resultados de los transectos al finalizar el primer año, de manera que tuviera la información disponible a pesar de que no estuviera publicada.

En cuanto a los resultados, encontramos 50 especies que fueron nuevos registros para el municipio, y de un estimado inicial de 500 especies para la zona, encontramos que hay 840, por lo que el área de estudio es mucho más diversa que lo que creíamos al iniciar. En cuanto a la vegetación, todas las zonas están alteradas, especialmente la vegetación acuática y los encinares. El principal factor de alteración, después del crecimiento urbano desmedido, es el sobrepastoreo.

Elaboramos 400 fichas con la descripción de las especies y su fotografía, que están disponibles por Internet. El proceso de elaborar la publicación ha sido mucho más tardado de lo esperado, si bien creemos terminarlo este año. En cuanto a los estudiantes, sólo dos terminaron sus tesis en el tiempo programado.

Los principales beneficios para la Universidad fueron la generación de infraestructura, ya que se adquirió un servidor para la página, GPS, muebles de herbario, cámara digital y escáner de cama grande, así como la formación de recursos humanos. La información nos permitirá elaborar al menos dos publicaciones en conjunto para fortalecer el cuerpo académico.

► Productos entregados

Información directa al usuario, página de Internet, estudiantes recibidos, publicaciones.

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

Las conclusiones que se pueden sacar del proyecto se encuentran en diferentes niveles.

1. El usuario de los resultados: para este proyecto, el usuario fue el Fideicomiso Queretano del Medio Ambiente (FIQMA), que necesitaba información sobre el grado de deterioro o conservación en la vegetación del municipio, así como saber cuáles especies se desarrollan en la zona y para qué sirven. Además, estaban interesados en recibir rápidamente esta información debido a la presión que ejercen los desarrolladores de vivienda y los que explotan los bancos de materiales. Ante esta situación, se optó por la entrega de información electrónica y personal en vez de esperar a publicarla. Así se pierde el beneficio de una revisión crítica por parte de un evaluador, pero se entrega al usuario lo que necesita en un tiempo razonable. En este caso, en año y medio existían avances suficientes, que se han podido incrementar y complementar posteriormente gracias a las bondades de las páginas de Internet. Después de terminado el proyecto, se continuó con el trabajo, hasta alcanzar un nivel de calidad suficiente para publicar los datos.
2. La Universidad: con este proyecto se generó financiamiento que permitió la compra de equipo que la administración central no puede proveer, como un servidor para la página, GPS, muebles de herbario, cámara digital y escáner de cama grande. También se obtuvieron 4 becas para estudiantes de licenciatura. La incorporación de estudiantes en los proyectos, a pesar de tener la gran ventaja de formarlos en áreas pertinentes, presenta un riesgo importante, ya que no se comprometen lo suficiente como para terminar en forma y tiempo el trabajo. A pesar de ser uno de los gastos más fuertes del proyecto, fue el que menos beneficios aportó debido a que sólo la mitad terminó a tiempo.
3. Los investigadores: una de las principales ventajas del grupo de investigación al someter este proyecto, es que los 4 integrantes teníamos experiencia en la zona, en los grupos que trabajamos, así como en el trabajo de conjunto. Esto permitió que el desarrollo del proyecto fuera fluido y se pudieran obtener resultados a tiempo. Cada investigador tuvo la oportunidad de ofrecer una beca, salir de colecta y generar material que se puede publicar. Debido a que existe presión por parte de la Universidad para consolidar grupos, este tipo de trabajos puede ser importante para generar publicaciones en conjunto que permitan esa consolidación.

4. Generación de información: con el desarrollo de este proyecto se encontró una nueva especie para la ciencia que es microendémica al valle de Querétaro (*Chaunanthus gracietae*), 340 especies más que las esperadas originalmente y 50 nuevos registros para la zona. Además, por medio de los análisis de vegetación se detectó que el sobrepastoreo es la principal causa de afectación de la vegetación nativa. Sólo ha aparecido una publicación arbitrada e indexada, y estamos trabajando en la publicación de un libro de divulgación ilustrado derivado de la información ya accesible por Internet, así como una publicación sobre el estado actual de la vegetación.

Bibliografía

Baltazar, J. M. Martínez y L. Hernández (2004). *Guía de plantas comunes del parque nacional El Cimatario y sus alrededores*. UAQ. 85 pp.

Cabrera, A. y M. Gómez (2005). “Análisis florístico de La Cañada”, Querétaro, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 77:35-50.

Hernández-Sandoval, L., F. Magallán-Hernández y O. Ibarra-Bowé (2000). “Vegetación y uso de suelo”. En: Pineda-López, R. y L. Hernández-Sandoval. *La microcuenca de Santa Catarina, estudios para su conservación y manejo*. UAQ. Querétaro, México

Zamudio, S., J. Rzedowski, E. Carranza y G. Calderón de Rzedowski (1992). *La vegetación en el estado de Querétaro, panorama preliminar*. Instituto de Ecología A.C., México. Pp. 75-78.



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO INTELIGENTE PARA INVERNADEROS¹

Genaro M. Soto-Zarazúa, Manuel Toledano-Ayala, Enrique Rico-García y Gilberto Herrera-Ruiz²

► Resumen

Se presenta el panorama general que motiva al desarrollo de tecnología para atender demandas específicas y la descripción de los sistemas de automatización inteligentes para control climático en producción hortícola y acuícola bajo invernadero, desarrollados por investigadores y alumnos de la licenciatura, maestría y doctorado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (FI-UAQ). Dichos sistemas de automatización son identificados con la marca registrada orgullosamente universitaria y mexicana TUNA® (Tecnología Universitaria Nacional en Automatización), así como casos de transferencia de la tecnología a productores de algunos estados de México como Querétaro, Guanajuato, Hidalgo y Zacatecas.

Todo esto con dos objetivos principales: el primero está directamente relacionado con lograr incrementar la productividad y rentabilidad del sector agrícola, acuícola y pecuario del país; el segundo se centra en hacer uso racional de los recursos que intervienen en el proceso de producción, siendo los de mayor importancia el agua y la energía eléctrica, ya que para el diseño de los controladores y las estrategias de control en dichos sistemas de automatización, se considera un amplio sentido de responsabilidad con tendencia constante a la creación de una conciencia ecológica en los productores y cuidado del medio ambiente.

¹ Proyecto FOMIX: QRO-2003-C01-10062

Monto aprobado: \$400,000.00

Aportaciones concurrentes: \$400,000.00

Monto total: \$800,000.00

² Del Departamento de Biosistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.



► Introducción

En el mundo, muchos países han desarrollado importantes proyectos a gran escala para promover el desarrollo de sus sectores para producción de alimentos, como son la acuicultura y la agricultura (Quazi, 2001), esto con el objetivo de asegurar el aprovisionamiento de alimento para la sociedad (Wafaa, 2002). Sin embargo, la actividad humana con estas prácticas está transformando los sistemas naturales por un inadecuado manejo y uso de la tierra y agua (Winz *et al.*, 2009); como consecuencia, por doquier se muestra un evidente mal uso de los recursos naturales (ej. agua subterránea), particularmente en los países en desarrollo, y esto representa serios problemas en muchas partes del mundo, ya que el agua subterránea representa uno de los recursos naturales más valorados para la salud humana, desarrollo económico y diversidad ecológica, debido a varias cualidades inherentes como: temperatura consistente, disponibilidad continua y extendida alrededor del mundo, excelente calidad natural, costo de desarrollo bajo, permanencia en tiempos de sequía en tierra, entre otras. En consecuencia, eso ha hecho que su uso sea inmensamente importante para satisfacer la necesidad y suministro de agua para consumo humano y uso doméstico en las zonas rurales y urbanas de las naciones desarrolladas y en desarrollo (Jha *et al.*, 2009).

En promedio de las cifras reportadas, de los 41.12 millones km³ de agua que se estimaban disponibles en la Tierra, cerca de 22% es agua subterránea, la cual constituye aproximadamente 97% de agua dulce potencialmente disponible para uso humano. Pero por desgracia las demandas de agua siguen aumentando debido al crecimiento de la población y por su mal uso (de Villiers, 2001; UN, 2003; Yang *et al.*, 2003). Debido a esto, la escasez de agua representa un problema con urgencia para ser atendido en este siglo, ya que más de 6 billones de gente enfrenta crisis de agua (UN, 2003) y cerca de 1.2 billones de gente carece de acceso seguro y costeable al agua para su uso doméstico en el mundo (WHO, 2003).

La problemática anteriormente expuesta, muestra la demanda de nuevas y mejores técnicas para manejo de los sistemas productivos, donde el principal insumo para producir es el agua, y éste es el caso de la agricultura, acuicultura y sector pecuario como fuentes básicas de alimento para la población de un país.

Una manera de mejorar dichos procesos de producción para obtener productividades favorables y con un uso racional del agua es mediante la integración de tecnología en automatización (Avnimelech, 2006), además de obtener ahorro en mano de obra para su operación. Sin embargo, la mayoría de los pequeños y medianos productores en México, no tiene la oportunidad de integrar dichos sistemas de automatización debido al alto costo que implica su compra. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de sistemas en paquetes tecnológicos de automatización a un bajo costo y alto desempeño con

tecnología nacional, ya que la extranjera es de difícil acceso y alto costo en México, al igual que su soporte técnico.

Con el desarrollo de la tecnología nacional en automatización para invernaderos, se espera ofrecer nuevas y mejores opciones para los productores mexicanos dedicados a la producción agrícola, acuícola y pecuaria nacional, con el objetivo de incrementar productividades en tiempos más cortos durante todo el año y, consecuentemente, su ingreso económico mediante un uso y aprovechamiento del agua y energía eléctrica.

► Demandas específicas

Integrar operación de la producción bajo invernadero y la automatización, proporcionando una alternativa para aumentar la producción de cultivos durante todo el año, simplificar el trabajo y principalmente mejorar la calidad en el producto. Que dicha automatización nos permita monitorear los cultivos desde cualquier parte y en cualquier momento, en respuesta a las limitantes que se presentan a cielo abierto, como climas extremos, medio ambiente y escasez de agua. De esta manera, se podrá tener un manejo óptimo de los recursos disponibles.

► Objetivo

Aplicar técnicas de automatización para control inteligente del clima en la producción bajo invernaderos para reducir gastos de operación, instalación y mantenimiento, usando herramientas de programación específicas para la automatización, reducir los tiempos de desarrollo y aumentar la fiabilidad de las aplicaciones desarrolladas, abriendo así un nuevo abanico de posibilidades en la explotación y operación de invernaderos, mediante la obtención de modelos climáticos que permiten implementar estrategias de control inteligente más sofisticadas.

► Desarrollo del proyecto

Desarrollo de *software* y *hardware* para los sistemas de automatización TUNA®

Las versiones de los sistemas de automatización en los procesos bajo invernadero hortícolas y acuícolas están clasificadas con similares características a las tareas de monitoreo y control que desempeñan. Se han desarrollado sistemas de adquisición de datos para aplicaciones de monitoreo. En Soto-Zarazúa *et al.* (2008) se presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo basado en FPGA (*field programable gate array*) de aplicación específica en sistemas acuícolas. En este sistema puede ser adaptado un ajuste polinomial

en FPGA, con el objetivo de evitar un acondicionamiento externo de señales en los sensores. Esta metodología se presenta en Soto-Zarazúa *et al.* (2007).

Se desarrolló también un sistema de supervisión inalámbrico para granjas acuícolas usando microcontroladores. La administración y control de comunicación lo lleva a cabo una unidad centralizada con ayuda de un computador, que es el módulo de control; vía inalámbrica se comunica con módulos de campo que registran la información de sus elementos de medición, de manera que se forma una red de comunicación entre todos estos módulos, los cuales se componen principalmente de un microcontrolador programado en lenguaje C y un transceptor inalámbrico. Detalles del sistema se presentan en Duarte-Correa *et al.*, (2008). Este sistema es complementado con una estrategia de control distribuido SCADA que viene de las siglas "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir, "Adquisición de datos y control por supervisión" (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2008).

A grandes rasgos, un sistema SCADA es un conjunto de utilidades de *software* y *hardware* especialmente diseñadas para el monitoreo y control de procesos de forma automática y manual; dicha aplicación ha sido mejorada con el desarrollo de un servidor embebido en microcontroladores de alto desempeño, para integrar aplicaciones de Internet (Mendoza-Mondragón, 2010). En este tipo de sistemas existe una computadora que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses o redes. Un sistema SCADA debe ser de arquitectura abierta, de tal manera que puedan ser expandibles, además deben tener la posibilidad de comunicarse con el exterior con medios estandarizados. Los sistemas SCADA son capaces de manipular e interpretar los datos obtenidos mediante criterios basados en reglas. Las tareas principales del sistema SCADA son: adquisición y procesamiento de datos, presentación en pantalla de la información adquirida, supervisión y control, un registro de incidencias, generación de históricos, ejecución de programas que modifiquen los parámetros de control, programación numérica que permita realizar cálculos aritméticos.

En los sistemas de automatización se han integrado interfaces gráficas de usuario (GUI), que permiten la fácil interacción entre el usuario y sistema de automatización, ya que entre más compleja es la estrategia de control, los parámetros a integrar son también más complicados y, por lo tanto, demanda también de personal capacitado para su uso. El desarrollo se presenta en Reyes-González *et al.*, (2008a).

Para las estrategias de control que se han diseñado en los sistemas de automatización inteligente e integrados por *software* y *hardware* de desarrollo específico, se consideran desde la técnica básica, simple y comúnmente usada para el control de invernaderos ON/OFF (Reyes-González *et al.*, 2008b) para versiones básica-media V1.0, hasta técnicas

de control clásico con controles PID y técnicas de control moderno-inteligente, como son el Fuzzy-Logic-Control (Soto-Zarazúa *et. al.*, 2010a, b) para versiones avanzadas V1.0 y V2.0, hortícola y acuícola respectivamente. Los desarrollos descritos en esta parte son integrados en los sistemas de automatización, formando así sistemas modulares que permiten la formación de las versiones con las características descritas en la sección de productos entregado de este artículo.

► Productos entregados

Sistemas de automatización desarrollados en la FI-UAQ

Actualmente en la FI-UAQ, con la participación de alumnos de la licenciatura, maestría y doctorado, se han desarrollado sistemas de automatización con diferentes funciones a desempeñar en los procesos de producción agrícola y acuícola bajo invernadero. Dichas funciones definen las dos versiones actualmente disponibles para producción hortícola y dos para acuícola: básica-media V1.0 y avanzada para la hortícola V1.1, y básica-media V1.0 y avanzada V2.0 para la acuícola.

A continuación se describe el funcionamiento general de cada versión y se mencionan casos de transferencia de tecnología a productores en diferentes estados del país.

Sistema de automatización hortícola TUNA® V1.0

El sistema de automatización para horticultura básico-medio TUNA® V1.0 (Figura 1) es un sistema básico con control ON/OFF y por tiempos, donde se controla únicamente la bomba de riego y clima mediante la manipulación de ventanas, nebulizadores y extractores de aire. A diferencia de los sistemas comúnmente usados, este sistema es capaz de almacenar en un archivo *.txt los eventos que ocurren en el proceso, de

Figura 1. Sistema de automatización para horticultura TUNA® V1.0: invernadero, pantalla del software y panel de potencia



acuerdo con las programaciones hechas por el usuario registrado, así como también registrar diferentes usuarios y programaciones para diferentes especies de plantas y etapas de cultivo. Permite también hacer el control de 8 módulos de invernadero en un mismo sistema de automatización. Sin embargo, el sistema puede ser extendido hasta n módulos. El sistema actualmente está operando en el Campus Amazcala de la FI-UAQ. El *software* del control ha sido desarrollado en lenguaje C++ y el *Software* Microsoft Visual C# 2008 *express edition*, y se tienen en desarrollo las versiones en un lenguaje bajo plataforma LINUX.

Sistema de control inteligente hortícola TUNA® V1.1

El sistema de automatización hortícola TUNA® V1.1 (Figura 2) tiene las mismas características y funciones que la V1.0; su diferencia consiste en que dicho sistema, además de controlar el riego y clima con la apertura y cierre de ventas, cuenta también con un sistema de monitoreo de variables ambientales internas y externas, registrando las mediciones de velocidad y dirección del viento, precipitación pluvial, temperatura y humedad. Los registros son guardados en archivos *.txt por fecha. Cabe mencionar que el sistema cuenta con opciones de configuración para selección de intervalos de lectura y variables que se desean guardar en los archivos de respaldo generados de cada variable y por día; dichos datos son mostrados gráficamente en la interfaz gráfica principal.

El sistema de automatización hortícola TUNA® V1.1 tiene integrado un algoritmo para control inteligente de ambiente interno basado en lógica difusa (Fuzzy Logic Control, FLC). Este algoritmo permite al usuario configurar una base de reglas tipo *si-entonces*, usando la GUI. La base de reglas se obtiene mediante la integración del conocimiento de un experto en el sistema de producción, y de esta manera el sistema de control simula las acciones y razonamiento humano sobre el comportamiento del proceso, y el controlador ejecuta las acciones que en determinado momento el usuario aplicaría para

Figura 2. Sistema de automatización para horticultura TUNA® V1.1: invernadero, pantalla del *software* y panel de potencia



corregir el ambiente, y de la misma manera proporcionar condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo. Las reglas se basan en la temperatura y humedad relativa; de esta manera se identifican y manipulan las acciones de control para abrir y cerrar las ventanas del invernadero y demás actuadores. Este proceso se presenta en Soto-Zarazúa *et al.*, (2010). El sistema base para este desarrollo fue transferido a la Universidad Tecnológica del Sur Oeste (UTSOE), del municipio Valle de Santiago del Estado de Guanajuato.

Sistemas de control acuícola TUNA® V1.0 y V2.0

Los sistemas de automatización para acuicultura tienen prácticamente las mismas características de funcionamiento que los sistemas hortícolas. Sin embargo, en la V1.0 la variable de control es el oxígeno disuelto en el agua y sistemas de alimentación; se integra también el control para el sistema de recirculación desarrollado (Zarazúa-Arvizu *et al.*, 2008; Soto-Zarazúa y Herrera-Ruiz, 2008). La base para este desarrollo fue transferida a productores acuícolas del estado de Zacatecas y Baja California Norte.

La V2.0 (Figura 4) integra también un sistema de control con algoritmos FLC, sin embargo, las variables de entrada son temperatura y oxígeno disuelto, y son principalmente aplicados para el suministro de alimento a los peces, usando alimentadores automáticos, y para sistemas de recirculación inteligentes. En el sistema de alimentación y recirculación de agua, los parámetros son configurados con el mismo método y procedimiento que en el sistema hortícola anteriormente descrito.

Conclusiones

En este trabajo, se han presentado importantes avances en el desarrollo de tecnología nacional en automatización para el sector productivo hortícola y acuícola bajo invernadero. En los sistemas se integran diferentes estrategias de control donde intervienen las

Figura 3. Sistema de automatización para acuicultura TUNA® V1.0: invernadero, pantalla del software y panel de potencia



condiciones ambientales, y la tarea de los controladores es mantenerlas en los rangos aceptables para el cultivo. Sin embargo, se considera que es necesario hacer el sinergismo entre los productores y los desarrolladores de la tecnología (universidades y centros de investigación) para hacer de la agricultura, acuicultura y pecuaria un sector productivo primario exitoso que permita hacer rentables los negocios y, de la misma manera, tener un ingreso económico mayor en los productores. Esto en general llevará a que México sea un país con mayor capacidad para producir el alimento para su población y, de la misma manera, para crear fuentes de empleo de alta calidad y digno para las familias mexicanas dedicadas a la producción primaria, con alto sentido de responsabilidad en el uso de recursos como agua y energía eléctrica.

Referencias

Avnimelech, Y. (2006). "Bio-filters: The need for an new comprehensive approach". *Aquacult. Eng.* 34, 172-178.

De Villiers, M. (2001). *Water: the fate of our most precious resource*. Mariner Books, Houghton, Mifflin, Boston, 368 p.

Duarte-Correa, D., S.R. Ramírez-Rodríguez, G.M. Soto-Zarazúa, M.A. Martínez-Prado and J. Rodríguez-Reséndiz (2008). "Wireless supervisory system using microcontrollers for fish farms". *Int. Eng. Congress*, 4: 1–7.

Jha, M.K., Kamii, Y., Chikamori, K. (2009). "Cost-Effective Approaches for Sustainable Groundwater Management in Alluvial Aquifer Systems". *Water Resources Management* 23, 219-233.

Figura 4. Sistema de automatización para acuicultura TUNA® V2.0: invernadero, pantalla del software y panel de potencia



Mendoza-Mondragón (2010). "Sistema de monitoreo y control de invernaderos a través de una red inalámbrica mediante un servidor web embebido en microcontroladores de alto rendimiento". Tesis de licenciatura. FI-UAQ.

Quazi, R. (2001). "Strategic Water Resources Planning: A Case Study of Bangladesh". *Water Resources Management* 15, 165-186.

Ramírez-Rodríguez, S.R., Duarte-Correa¹, D., Soto-Zarazúa, G.M., Martínez-Prado, M.A., Rodríguez-Reséndiz, J. (2008). "Software development for a wireless distributed SCADA system applied in aquaculture farms". *Memorias del 4° Congreso Internacional de Ingeniería*, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, abril de 2008.

Reyes-González, C., Soto-Zarazúa, G.M., Bustamante-Lau, M., Rico-García, E., Ocampo, R., Mercado-Luna, A., Herrera-Ruiz, G. (2008b). "Desarrollo de software para control de eventos por tiempos". *Memorias del II WORKSHOP GREENHOUSE PRODUCTION, Greenhouse Technology Development for Small Rural Producers: Environmental and Economic Sustainability*, Querétaro, México, octubre de 2008.

Reyes-González, C., Soto-Zarazúa, G.M., Herrera-Ruiz, G., Duarte-Correa, D., Rico-García, E. (2008a). "Develop and implementation of human-machine interface (touch screen) for monitoring and control of aquaculture farms". *Memorias del 4° Congreso Internacional de Ingeniería*, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, abril de 2008.

Soto-Zarazúa, G.M., Herrera-Ruiz, G. (2008). "Design and performance of a recirculation aquaculture system with intensive *Tilapia (Oreochromis niloticus)* production". *Memorias del II WORKSHOP GREENHOUSE PRODUCTION, Greenhouse Technology Development for Small Rural Producers: Environmental and Economic Sustainability*, Querétaro, México, Octubre de 2008.

Soto-Zarazúa, G.M., Morales-Velásquez, L., Olvera, C.A., Castañeda-Miranda, R., Gómez-Meléndez, D.J., Herrera-Ruiz, G. (2007). "Adjustment polynomial implemented in FPGA for a termistor Davis-7817". *Memorias del 3er Congreso Internacional de Ingeniería*, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, abril de 2007.

Soto-Zarazúa, G.M., Herrera-Ruiz, G., Rico-García, E., Peniche-Vera, R.R., Ramírez-Rodríguez, S.R., Duarte-Correa, D. (2008^a). "Monitoring system design for intensive aquaculture farms implemented in FPGA". *Memorias del 4to Congreso Internacional de Ingeniería*, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, abril de 2008.

Soto-Zarazúa GM, Rico-García E, Ocampo R, Guevara-González RG, Herrera-Ruiz G (2010a). "Fuzzy-logic-based feeder system for intensive tilapia production (*Oreochromis niloticus*)". *Aquacult. Int.* 18(3): 379-391.

Soto-Zarazúa GM, Herrera-Ruiz G, Rico-García E, Toledano-Ayala M, Peniche-Vera R, Ocampo-Velázquez R, Guevara-González RG (2010b). "Development of efficient recirculation system for Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture using low cost materials". *Afr. J. Biotechnol.* 9(32):5203–5211.

UN (2003). "Water for people, water for life". *The UN World Water Development Report (WWDR)*, UNESCO Publishing and Berghahn Books, UK, pp 34.

Wafaa, Haggag, W. (2002). "Sustainable Agriculture Management of Plant Diseases". On Line *Journal of Biological Sciences.* 2(4), 280-284.

WHO, (2003) "Water sanitation and health". En: http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/en/

Winz, I., Brierley, G., Trowsdale, S. (2009). "The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management". *Water Resources Management* 23, 1301-1323.

Yang, H., Reichert, P., Abbaspour, K., Zehnder, A.J.B. (2003). "A water resources threshold and its implications for food security". *Environ Sci Technol* 37, 3048–3054.

Zarazúa-Arvizu, E., Soto-Zarazúa, G.M., Nava-Mendoza, R., Herrera-Ruiz, G. (2008). "Design and construction of recirculation system for intensive Tilapia production (*Oreochromis niloticus*)". *Memorias del 4to Congreso Internacional de Ingeniería*, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, abril de 2008.





QUINTANA ROO

EL TRÁILER DE LA CIENCIA¹

José Antonio Hoy Manzanilla²

► Introducción

En congruencia con el Plan Estatal de Desarrollo 2005-2011, el gobierno de Quintana Roo ha establecido su compromiso de fomentar la innovación, el desarrollo tecnológico y la creación de capital intelectual, para consolidar y generar nuevas alternativas de crecimiento económico en el estado. Con el convencimiento de que la formación de capital humano debe impulsarse desde las etapas tempranas de desarrollo de la población quintanarroense, el proyecto del Tráiler de la Ciencia se hace necesario, pertinente y estratégico.

En México se tiene la percepción de que el desarrollo de la ciencia y la tecnología se lleva a cabo en el centro del país. Es por ello que el estado de Quintana Roo busca insertarse en la vida nacional contribuyendo con investigaciones que benefician a la sociedad, fundamentándolas con una visión estatal y regional. Si bien es alta y consistente la inversión del estado de Quintana Roo en materia educativa, la dispersión poblacional de la entidad no permite potenciar los resultados hacia todos los sectores sociales, sobre todo en el fomento y promoción de una cultura científica y tecnológica en el estado.

¹ Proyecto FOMIX: QROO-2006-C01-56082

Monto aprobado y total: \$2,810,000.00

² Director del Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología



Fig. 1. El estado de Quintana Roo, sus municipios y comunidades**Situación Geográfica**

El estado de Quintana Roo, situado en la porción oriental de la Península de Yucatán, tiene una superficie de 50,843 kilómetros cuadrados (2.56% del Territorio Nacional). Colinda al norte con el Golfo de México y el Estado de Yucatán; al este con el Mar Caribe; al sur con Belice y Guatemala, y al Oeste con el Estado de Campeche. En 1902 se crea el territorio de Quintana Roo y en 1974 se convierte en Estado libre y soberano.



Un mecanismo de divulgación posible es la llamada ciencia móvil, a través de espacios itinerantes de la ciencia práctica que se ha ido consolidando a nivel nacional y que tiene la posibilidad de llegar a las principales ciudades del estado (Figura 1), para que niñas, niños, adolescentes y adultos entren en contacto con la ciencia y la tecnología de manera informal, divertida y gratuita. Mediante el Tráiler de la Ciencia se puede coadyuvar al sistema educativo estatal como complemento en el aprendizaje no formal de la ciencia y la tecnología. Basado en la idea de aprender haciendo, el Tráiler de la Ciencia es una alternativa idónea para complementar algunos objetivos de la escuela, así como para la adquisición de conocimientos y experiencias relacionadas con una mejor comprensión del mundo que nos rodea, a través de la participación activa.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

La demanda específica establecida para el diseño, construcción y operación del Tráiler de la Ciencia, incluyó los siguientes elementos:

- El Tráiler de la Ciencia debe consistir en el equipamiento de una unidad móvil, la cual debe contener todos los instrumentos interactivos necesarios para representar diferentes principios físicos y de otras ciencias básicas, y lo integra también equipo informático con tecnología de la comunicación.
- La adquisición, diseño, adaptación y equipamiento de un Tráiler de la Ciencia itinerante consiste en una camioneta tipo 3.5 toneladas adaptada para trasladar el

aula, remolque de 8 metros de longitud, en la que se integra un laboratorio y taller, completamente acondicionado y equipado con materiales y artículos de educación, ciencia recreativa y tecnológica, interactivos y con sistemas actualizados que cubran altas normas y requerimientos de calidad y que proporcionará conocimientos en forma equitativa en los diversos municipios, áreas rurales y zonas marginadas.

- El paquete del tráiler debe incluir dos vehículos (automóviles compactos) para el respaldo administrativo, publicitario y traslado del personal que atenderá esta aula móvil en el lugar de su instalación.
- Los equipos entregables deben cubrir temas de física como: óptica, calor, mecánica, electricidad, magnetismo, láser, holografía, biología vegetal (botánica), biología animal (zoología), biología humana (el cuerpo humano), geografía nacional y mundial, química, matemáticas, astronomía, nubes, vientos y juegos de destreza; asimismo, debe contar con 4 equipos de computación y una laptop, proyector de video, lector de VHS y DVD, 2 televisores de 29", proyector de diapositivas, retroproyector, 2 pantallas, 2 pizarrones, 20 sillas apilables, 4 mesas y un equipo de audio.
- En todos los casos, los equipos interactivos deben ser acompañados de un manual de uso y especificaciones técnicas. El proyecto incluye la adquisición del tráiler, así como la adaptación y el equipamiento. También deberá considerar el equipamiento y la instalación eléctrica para funcionar con corriente alterna y de manera autónoma.

► **Objetivo general**

Desarrollar en los niños y jóvenes estudiantes habilidades y actitudes que los lleven en el futuro a despertar vocaciones orientadas hacia la ciencia y la tecnología, propiciar la comprensión de la ciencia y la tecnología como pilares del desarrollo de nuestro estado y país, fomentar en la población en general una concepción racional de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y el universo, y ser un instrumento interactivo de divulgación de la ciencia que permita llevar el conocimiento científico a la mayor población posible del estado.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

Este proyecto fue desarrollado con la participación de la empresa de base tecnológica Grupo Integral de Desarrollo Educativo (GIDE), con una inversión de \$2'810,000.00, financiada por el Fondo Mixto Quintana Roo-CONACYT.

El Tráiler de la Ciencia fue conceptualizado como un aula interactiva-didáctica-itinerante, con elementos diseñados para despertar y fomentar el interés y comprensión de las ciencias de una manera informal y entretenida, diferente y complementaria a la que se da en las aulas de estudio donde asisten la niñez y juventud quintanarroense.

El proceso de interacción con el visitante permite que éste reciba una explicación sobre el prototipo en turno, lleve a cabo una observación, genere una hipótesis, interactúe con el prototipo, compruebe su hipótesis y finalmente genere su propia idea de lo aprendido. Este proceso dura entre 12 y 15 minutos en cada área de trabajo, con un recorrido total promedio de 60 minutos.

El Tráiler de la Ciencia fue desarrollado en un contenedor construido y adaptado, con autonomía eléctrica, desmontable, abatible y transportable, e impulsado o movido por un vehículo de tres toneladas. Además, se cuenta con una camioneta de doble cabina, adaptada con equipo de perifoneo y promoción.

El Tráiler de la Ciencia (Figura 2) es un aula interactiva-didáctica, con una superficie desplegable de 70 m², desmontable, abatible, con autonomía eléctrica y transportable, impulsado por un vehículo de tres toneladas. Como apoyo en la movilidad del personal que atiende el museo itinerante y las labores de promoción del Tráiler de la Ciencia, se cuenta con una camioneta de doble cabina, adaptada con equipo de perifoneo y promoción. El Tráiler de la Ciencia cuenta con más de 40 elementos de las distintas áreas del conocimiento: física, biología, fisiología humana, informática. Se pueden atender en modalidad de visita guiada hasta 600 niños al día en turnos matutino y vespertino (Figura 3).

Fig. 2. Tráiler de la Ciencia, conformado con un tráiler adaptado y una camioneta de 3 toneladas como unidad de tracción



Fig. 3. El Tráiler de la Ciencia tiene la capacidad de atender a 600 visitantes en dos turnos: matutino y vespertino



La atención de los usuarios en el tráiler se divide en dos partes: en la primera, que es la de preámbulo, se les proyecta un video o documental sobre temas de ciencia y tecnología, que es comentado al final del mismo. El área audiovisual tiene video proyección con proyector y dos televisores de 29". En la segunda parte, los usuarios son atendidos en las 4 mesas de trabajo (Figura 4) que constituyen la oferta temática del Tráiler de la Ciencia, con 40 elementos didácticos sobre óptica, rayos láser, energía solar, mecánica, electricidad, astronomía, calor, biología humana, biología animal, biología vegetal, área de cómputo con Internet satelital, *laptops* conectadas a Internet, además de *software* de enseñanza. El Tráiler de la Ciencia fue construido específicamente para ser una herramienta para la divulgación y promoción de la ciencia; dotado de infraestructura generada por ingenieros mexicanos, fue el primer vehículo semiautomatizado y equipado con elementos didácticos que permiten la interacción de los niños, estimulando con ellos el potencial creativo, utilizando el método constructivista y generando su propio conocimiento a partir de una hipótesis planteada por ellos mismos.

Fig. 4. El Tráiler de la Ciencia cuenta con más de 40 elementos didácticos-interactivos, donde los usuarios pueden observar, manipular y probar sus hipótesis, con ayuda de capacitados facilitadores



Fig. 5. Número de ciudades atendidas por municipio de Quintana Roo. Sólo representa los lugares que fungieron como sitios integradores

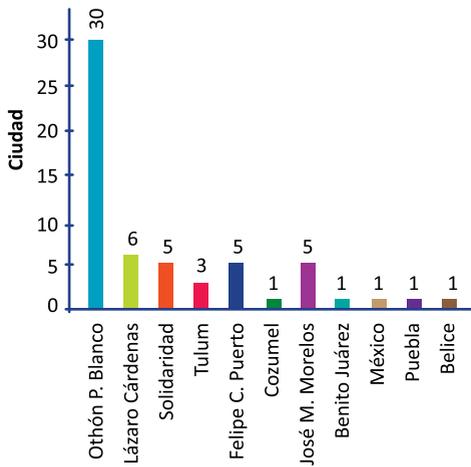


Fig. 6. Número de personas atendidas por municipio de Quintana Roo

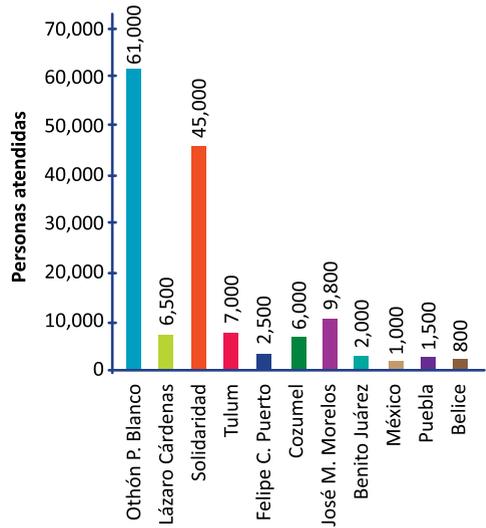


Fig. 7. Número de escuelas atendidas por municipio de Quintana Roo

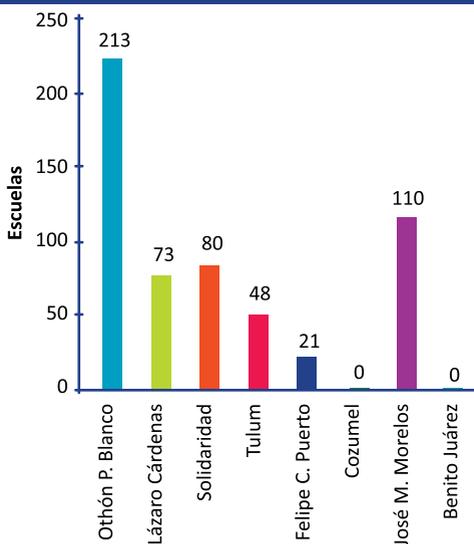
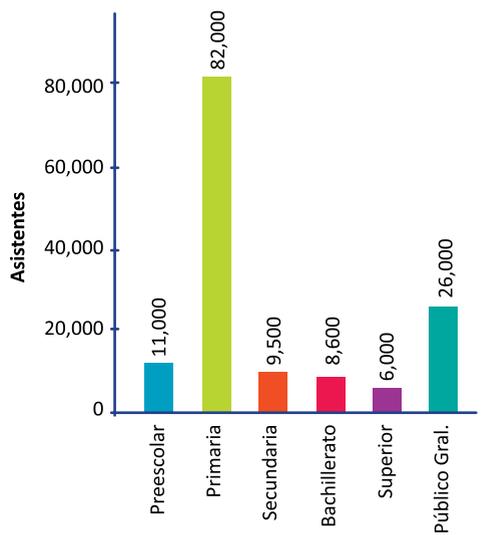


Fig. 8. Número de personas atendidas por nivel educativo de Quintana Roo



El tráiler opera con el siguiente personal, en sus distintas etapas: un operador y acompañante para el transporte; cuatro personas para el ensamble, despliegue y retracción del tráiler; una persona para capacitación y un mínimo de ocho personas para atención al público. Este último grupo está conformado por jóvenes estudiantes de nivel superior y medio superior, quienes fungen como facilitadores o asesores del conocimiento científico, capacitados previamente por el personal del COQCYT en el manejo de contenidos de las distintas áreas del conocimiento. Así, se logra que los jóvenes estudiantes cumplan con su servicio social y se fomenta el número de divulgadores de la ciencia en Quintana Roo.

El plan de mantenimiento del tráiler lo realiza el operador y responsable de la unidad. Cada ocasión que el Tráiler de la Ciencia es requerido, se hace una revisión exhaustiva de los elementos y en la parte mecánica. Se realiza mantenimiento preventivo del tráiler y la unidad de tracción, cada 7,000 km, siguiendo los requerimientos del manual de usuario. Asimismo, se realiza una revisión permanente en la estructura, mobiliario, equipos y materiales usados en el Tráiler de la Ciencia.

El Tráiler de la Ciencia ha contribuido en el aprendizaje de conceptos vistos en clase con instrumentos didáctico-interactivos, en donde ellos mismos completarán el ciclo enseñanza-aprendizaje. El Tráiler de la Ciencia tiene mejores resultados si se atiende una escuela en un periodo de tiempo de dos días. En esta modalidad de atención escolarizada se sugiere que se empiece con los niños de 1º a 4º el primer día y el segundo día los de 5º y 6º, con la intención de tener un trato más personalizado con los estudiantes de grados superiores y garantizar la interacción con los elementos didácticos y con los guías facilitadores.

El Tráiler de la Ciencia se ha constituido ya en un espacio educativo-recreativo donde niños y jóvenes, así como el público en general, tienen la oportunidad de investigar fenómenos de las ciencias físicas y de la vida, experimentar y ensayar con la tecnología de la comunicación y, sobre todo, aprender en un ambiente divertido.

Productos entregados

El proyecto consistió en el diseño, construcción y operación de un museo móvil denominado el Tráiler de la Ciencia de Quintana Roo. El tráiler fue conceptualizado como un aula interactiva-didáctica-itinerante, con una superficie desplegable de 70 m² con más de 40 elementos temáticos, conformada por un contenedor construido y adaptado, desmontable, abatible, con autonomía eléctrica y transportable, impulsado por un vehículo de tres toneladas. Se complementa con una camioneta de doble cabina, adaptada con equipo de perifoneo y promoción.

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

Sin duda alguna, después de la experiencia que ha representado el trabajar con esta herramienta en las zonas más vulnerables de Quintana Roo, como es la zona maya, el Tráiler de la Ciencia se propone como una herramienta apropiada para la divulgación, ya que nuestros niños mayas han tenido contacto por primera vez con la ciencia, la tecnología y la innovación en su propio medio. El Tráiler de la Ciencia tiene como parte de su misión promover una más amplia y diversa percepción de la ciencia en las comunidades de Quintana Roo.

Mediante la vinculación con los ayuntamientos de los municipios a través de la celebración de convenios de colaboración ha sido posible estar en la mayoría de los municipios del estado de Quintana Roo (Figura 5). A partir de junio de 2007 y hasta abril de 2010, el Tráiler de la Ciencia ha atendido a más de 140 mil asistentes (Figura 6), recorrido 12,273 km en 6 de los 9 ayuntamientos que conforman la geografía estatal y atendido a más de 360 escuelas de educación básica, preescolar, media superior y superior (Figuras 7 y 8).

Además, desde su inauguración, el 20 de junio de 2007, en la administración del Lic. Félix Arturo González Canto, gobernador constitucional de Quintana Roo, el Tráiler de la Ciencia ha sido invitado a participar como proyecto exitoso en la EXPOCIENCIA y TECNOLOGÍA 2007, celebrada en la H. Cámara de Diputados; también ha estado en la ciudad de Puebla de los Ángeles a solicitud del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP), ha participado en la 2ª Feria Internacional de la Salud en la ciudad de Corozal, Belice, dando así paso a la internacionalización de esta herramienta de diseño orgullosamente mexicano, con toque quintanarroense.



RED DE MONITOREO ESTATAL DE PARÁMETROS RELACIONADOS CON PROYECTOS DE ENERGÍA¹

J. Antonio Hoy Manzanilla y Antonio Pech Palacio²

► Introducción

La crisis de alimentos y el incremento del precio de los energéticos a nivel mundial afectan la economía de todos los países. México, por el estatus de su riqueza petrolera y la tendencia de la misma, no escapa a esta situación por lo que se requiere de forma urgente buscar fuentes alternas de energía, para su uso inmediato y futuro.

Quintana Roo es el estado más oriental en la punta de la Península de Yucatán, con una superficie de 42,360 km². Limita con los estados mexicanos de Yucatán hacia el noroeste, Campeche hacia el oeste, los países centroamericanos de Belice y Guatemala al sur, y el Golfo de México y el Mar Caribe al este y al norte. El 99% de la superficie del estado de Quintana Roo presenta clima cálido subhúmedo y el 1% cálido húmedo, localizado en la isla de Cozumel. La temperatura media anual del estado es de 26°C, la temperatura máxima promedio es de 33°C y se presenta en los meses de abril a agosto; la temperatura mínima promedio es de 17°C durante el mes de enero. La precipitación

¹ Proyecto FOMIX: QROO-2008-C02-109703

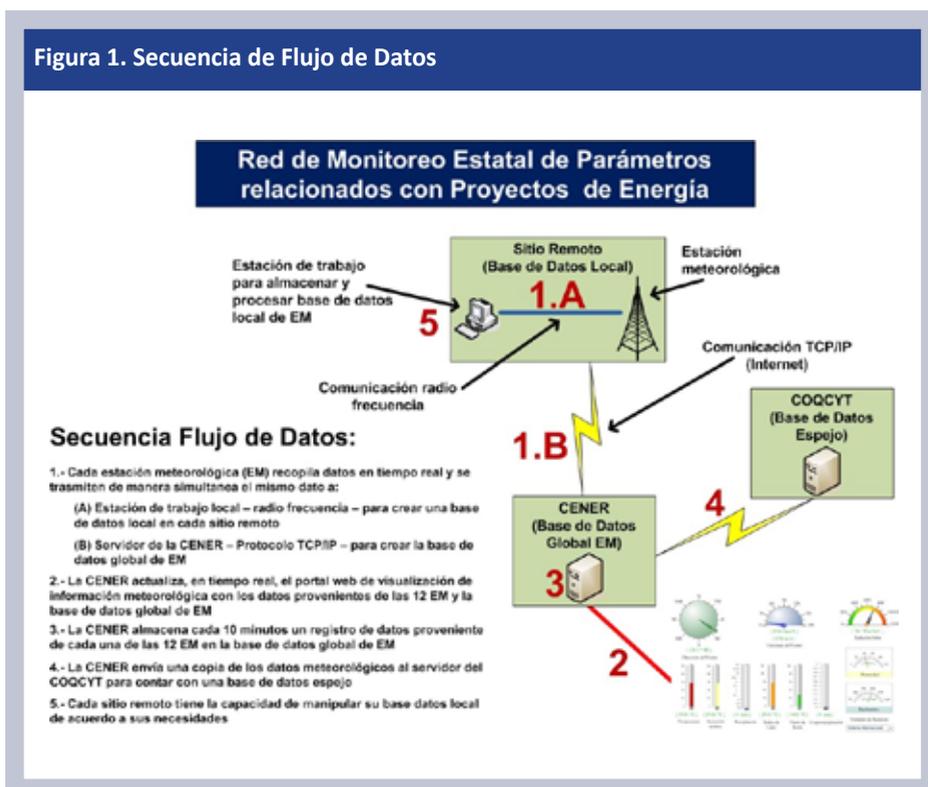
Monto aprobado y total: \$1,180,000.00

² Director del Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología.

media estatal es alrededor de 1,300 mm anuales; las lluvias se presentan durante todo el año, siendo más abundantes en los meses de junio a octubre. El clima cálido subhúmedo favorece el cultivo de caña de azúcar, chile jalapeño, maíz, arroz, hortalizas y frutas como chicozapote, naranja, toronja, papaya, limón agrio, mango y piña entre otras (INEGI, 2010).

El 17 de diciembre de 2007 la H. Legislatura del estado aprobó la nueva Ley de Desarrollo Económico y Competitividad del Estado de Quintana Roo. Dicha Ley, además de establecer las bases sobre las cuales se sostiene el modelo de desarrollo económico basado en la competitividad, establece la creación de siete instrumentos, que incluye entre otros la formación de la Comisión de Energía (CENER). Con este preámbulo se desarrolló el proyecto de la Red de Monitoreo Estatal de Parámetros relacionados con proyectos de Energía, que tiene como finalidad el tener en operación una red de estaciones de medición que registren parámetros climatológicos y de energía, en tiempo real, y cuya información sea accesible vía un portal web. Los requerimientos que debería cumplir la red se presentan en la Figura 1.

Figura 1. Secuencia de Flujo de Datos



► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

La demanda atendida de la convocatoria 2008-02, fue la 3.2 denominada Red de Monitoreo Estatal de Parámetros Relacionados con Proyectos de Energía (modalidad d), que plantea que una de las necesidades más importantes a que da lugar el objeto de la Comisión de Energía de Quintana Roo, es el monitoreo en diversas partes del estado de los parámetros que sirven como elementos de decisión en proyectos relacionados con la generación y consumo de la energía, de manera continua, confiable y oportuna. Como ejemplo de tales parámetros, sin pretender ser limitativos, se cuentan: la temperatura, la velocidad del viento, la radiación solar, la precipitación pluvial, la humedad, etc.

► Objetivo general

El objetivo del proyecto es tener en operación una red de estaciones de medición que registren parámetros climatológicos y de energía, en tiempo real, y cuya información histórica o puntual sea accesible vía Internet para todos los interesados.

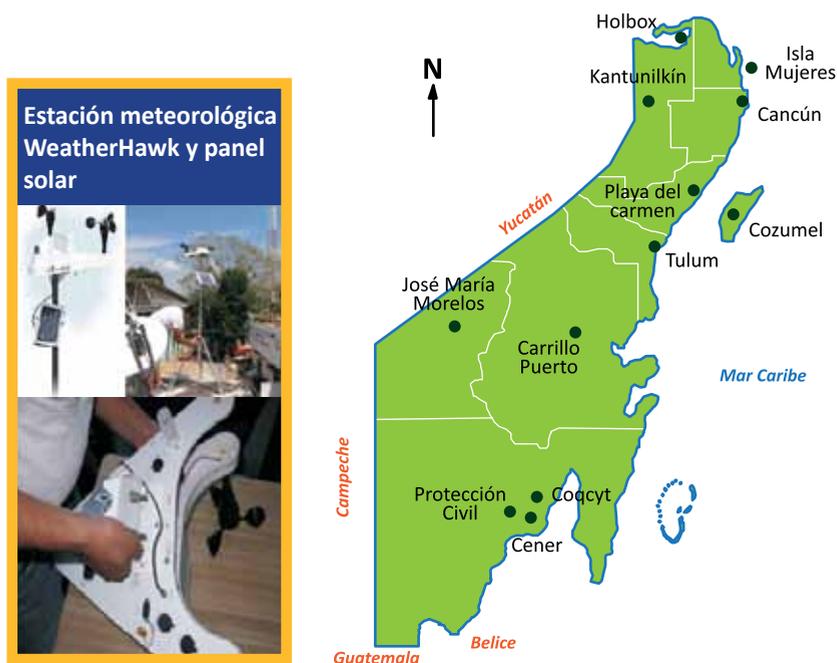
► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

En coordinación con la Comisión de Energía (CENER) de Quintana Roo, se instalaron 12 estaciones meteorológicas de la marca WeatherHawk, modelo 916. Las estaciones se instalaron en azoteas de edificios públicos, se fijaron a la loza y se utilizaron tensores con cable de acero inoxidable para darles mayor estabilidad y firmeza (Figura 2). Cada estación cuenta con interfaces de radio frecuencia y TCP/IP (Protocolo de Transmisión de Comunicaciones / Internet Protocolo). Tiene sensores para medir los parámetros de dirección del viento, velocidad del viento (Km/h), irradiación solar (W/m²), temperatura (°C), sensación térmica (°C), índice de calor (°C), punto de rocío (°C), evapotranspiración (mm), humedad (%), precipitación pluvial (mm) y presión barométrica (mb).

Las estaciones se ubicaron en los nueve municipios de Quintana Roo: Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Othón P. Blanco, Solidaridad y Tulum. Adicionalmente se instalaron tres estaciones: una en la oficina de Protección Civil del gobierno del estado, otra en la Comisión de Energía y la última en el Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología (Figura 2).

Cada estación meteorológica WeatherHawk está diseñada para facilitar su instalación y manejo. Incluye una batería (aunque hubiese una falla de energía eléctrica, la estación tiene una memoria interna que le provee autonomía de almacenamiento y conservación de la información por aproximadamente 30 días) que se recarga vía corriente alterna (220V) o con un panel solar de 1.6W; tanto la estación meteorológica y el panel solar

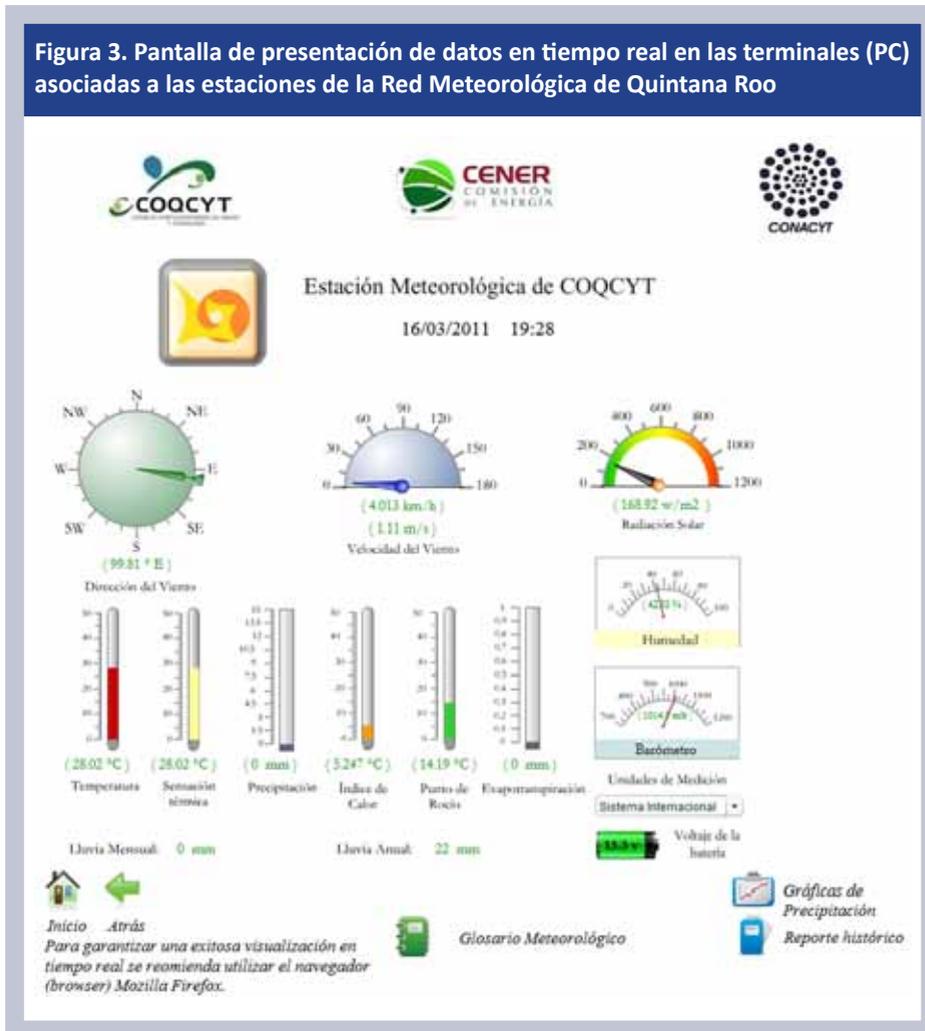
Figura 2. Esquema de la Red de Estaciones Meteorológicas



que alimenta la batería se instalan en un tubo o mástil. En el proyecto, se realizó el curso “Redes y Estaciones Meteorológicas, Operatividad y Manejo”, donde se instruyó a los encargados y responsables de cada estación meteorológica.

Cada estación, con sus equipos componentes y programas informáticos, permite entregar los datos meteorológicos en tiempo real, además calcula el valor de la evapotranspiración, y presenta los datos en forma simple y amigable. La estación WeatherHawk incluye el software denominado Loggernet que permite la gestión de los datos recabados. La estación está totalmente ensamblada e incluye los sensores meteorológicos y una caja protectora que contiene el microprocesador, batería recargable y una radio transmisora-receptora de amplio espectro. El microprocesador de la estación de terreno registra automáticamente cada uno de los sensores, guarda la información en un almacenador de datos, antes de transmitirlos a un computador (PC) remoto, vía el radio de amplio espectro (Campbell Scientific, modelo RF400). La base de datos y la lectura puntual en tiempo real están disponibles para el responsable de la estación y el público en general

Figura 3. Pantalla de presentación de datos en tiempo real en las terminales (PC) asociadas a las estaciones de la Red Meteorológica de Quintana Roo



a través de un portal web. Por medio de una interfaz gráfica, el usuario selecciona y visualiza los datos meteorológicos obtenidos por cada estación meteorológica (Figura 3).

En el curso de capacitación para responsables de las estaciones meteorológicas se contó adicionalmente con representantes de la Red de Estaciones Agroclimáticas del Estado de Quintana Roo, que ligadas mediante un convenio al INIFAP del estado, están interesados en hacer crecer esta Red Estatal de Monitoreo, intercambiando conocimientos, experiencia y aplicaciones de la información obtenida con la Red de Monitoreo de Parámetros de Energía, para darle atención al sector agrícola.

Figura 4. Datos históricos Estación Meteorológica de COQVT (13 de abril de 2010, 12:31 hrs)

Fecha	Hora	Velocidad del viento km/h	Dirección del viento °	Velocidad del viento máx km/h	Temp Máx °C	Temp Min °C	Temp Promedio °C	Hum Rel Promedio %	Vel Viento Promedio m/s
13/04/2010	12:20:00	14.37	119.29	22.46	29.95	28.08	28.86	41.90	3.99
13/04/2010	12:10:00	13.86	120.52	21.64	29.59	27.90	28.65	43.24	3.85
13/04/2010	12:00:00	13.55	124.63	22.74	29.79	27.87	28.70	43.64	3.76
13/04/2010	11:50:00	13.37	127.59	21.36	29.88	27.88	28.67	43.14	3.71
13/04/2010	11:40:00	13.00	129.76	18.61	29.40	28.03	28.59	40.63	3.61
13/04/2010	11:30:00	10.47	132.98	21.09	30.51	28.25	29.22	39.61	2.91
13/04/2010	11:20:00	9.07	130.78	16.13	30.35	28.04	28.96	41.53	2.52
13/04/2010	11:10:00	7.76	119.33	13.65	29.61	27.88	28.64	44.34	2.16
13/04/2010	11:00:00	7.62	103.31	15.03	29.04	27.71	28.20	45.67	2.12
13/04/2010	10:50:00	6.29	125.46	13.93	29.53	27.29	28.24	47.03	1.75
13/04/2010	10:40:00	5.91	94.65	12.83	28.94	27.44	28.07	46.98	1.64
13/04/2010	10:30:00	5.88	94.70	11.45	28.83	27.53	28.09	48.57	1.63
13/04/2010	10:20:00	8.17	89.46	14.48	28.69	27.26	27.86	49.00	2.27
13/04/2010	10:10:00	7.30	96.56	14.48	28.90	27.70	28.08	48.48	2.03
13/04/2010	10:00:00	6.61	91.59	13.65	29.15	27.49	28.12	48.07	1.84
13/04/2010	09:50:00	6.54	93.43	16.13	29.01	27.51	28.11	48.38	1.82
13/04/2010	09:40:00	6.68	81.52	14.20	28.66	27.23	27.81	48.61	1.86
13/04/2010	09:30:00	7.26	83.79	12.55	29.27	27.39	28.07	47.16	2.02
13/04/2010	09:20:00	6.12	83.83	11.17	29.79	27.54	28.22	49.37	1.70
13/04/2010	09:10:00	6.50	92.97	11.72	29.01	27.41	27.96	50.66	1.80
13/04/2010	09:00:00	6.18	94.17	10.90	29.14	27.49	28.02	51.37	1.72
13/04/2010	08:50:00	5.27	93.26	12.83	29.22	27.68	28.25	52.65	1.46
13/04/2010	08:40:00	4.17	94.43	9.25	29.01	27.39	28.05	56.22	1.16
13/04/2010	08:30:00	3.38	81.70	7.59	28.45	25.15	26.75	68.14	0.94
13/04/2010	08:20:00	1.71	9.26	5.94	25.49	24.80	25.06	72.74	0.48
13/04/2010	08:10:00	1.33	338.26	3.46	25.26	24.40	24.81	75.18	0.37
13/04/2010	08:00:00	1.57	328.84	4.84	24.61	23.95	24.29	76.81	0.44
13/04/2010	07:50:00	2.29	345.61	6.22	24.34	23.74	23.96	78.18	0.64

Como se mencionó anteriormente, se cuenta con un portal web (<http://cener.blogdns.com>), donde los usuarios en general pueden visualizar en tiempo real los datos de todas y cada una de las estaciones, asimismo, los datos históricos de la Red de Estaciones Meteorológicas de Quintana Roo (Figura 4). La inauguración oficial de la Red de Estaciones Meteorológicas de Quintana Roo se llevó a cabo en el mes de abril de 2010.

Como parte de sus acciones para el mejoramiento y desarrollo continuo de la entidad, Quintana Roo crea la Comisión de Energía y además se pone a la vanguardia al establecer su propia Red de Estaciones Meteorológicas que monitorea, en tiempo real, las condiciones ambientales en todo el estado. En su primera etapa la red consta de 12 estaciones meteorológicas instaladas a lo largo del territorio estatal. Actualmente, las estaciones toman lecturas de 16 parámetros y transmiten los datos a un servidor central ubicado en las oficinas de la CENER para crear una base de datos global de estaciones meteorológicas. A partir de estas mediciones y la base de datos global se alimenta un portal web de desarrollo para permitir a todo público la visualización y acceso a los datos. Dentro de las acciones en desarrollo destacan el proceso de validación de sus mediciones por parte de la Comisión Nacional del Agua, su integración a una red nacional de monitoreo y ser un generador de una base de datos de parámetros de energía que servirá de fuente de información para muchos campos del quehacer de la vida de los quintanarroenses.

► **Productos entregados**

En el marco de la Ley de Desarrollo Económico y Competitividad del Estado de Quintana Roo y la conformación de la Comisión de Energía (CENER), se llevó a cabo un proyecto cuyo objetivo fue tener en operación una red de estaciones de medición que registren parámetros climatológicos y de energía, en tiempo real. Se conformó una red de doce estaciones meteorológicas ubicadas en los nueve municipios del Estado de Quintana Roo que registran parámetros de dirección del viento, velocidad del viento, irradiación solar, temperatura, sensación térmica, índice de calor, punto de rocío, evapotranspiración, humedad relativa, precipitación pluvial y presión barométrica, en tiempo real, y cuya información histórica o puntual es accesible vía un portal web para todos los interesados.

► **Conclusiones y/o beneficios obtenidos**

La Red de Estaciones Meteorológicas de Quintana Roo tiene un impacto social directo al permitir a la comunidad en general acceso a información climatológica, en tiempo real, de las diferentes regiones de Quintana Roo, con el fin de determinar según su conveniencia el uso de esta información. El impacto económico se sustenta en la posibilidad de

solicitar con datos validados la disminución de las tarifas eléctricas, al menos por regiones, para Quintana Roo, de acuerdo con los registros históricos de las temperaturas promedio y de otros parámetros como la sensación térmica. El conocimiento de áreas de alta captación energética (solar, eólica, etcétera) abre la posibilidad de su uso como fuentes alternativas de energía en los sistemas de producción rural e industrial con un impacto positivo al ambiente y con un impacto económico en el sector productivo (social y privado) en el mediano plazo. El uso de energías más limpias reduce la contaminación ambiental y, por lo tanto, estimula el turismo, tan importante para el estado de Quintana Roo y para México. El impacto económico en el sector académico y de investigación es el tener una plataforma virtual para hacer uso de las instalaciones físicas en tiempo real y obtener los datos climatológicos validados de todo el estado, para los estudios de tesis de licenciatura y posgrado, y para los proyectos de investigación a desarrollarse en las IES y centros de investigación en esta área temática; asimismo, se evita la duplicidad de inversión en equipos de medición climatológica y de parámetros de energía.





SAN LUIS POTOSÍ

CÁNCER CERVICOUTERINO E INFECCIONES POR VIRUS DEL PAPILOMA HUMANO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ¹

Rubén López Revilla²

► Resumen

El cáncer cervicouterino (CaCu), uno de los principales problemas de salud en el país y en el estado de San Luis Potosí (SLP), se debe a la infección persistente del epitelio del cuello uterino por virus del papiloma humano de alto riesgo (VPH-AR), transmitidos por contacto sexual. Los programas para la detección oportuna del CaCu se basan en el análisis citológico de raspados del cérvix con el método de Papanicolaou, aunque alrededor del 15% de las mujeres con citología normal tienen infección por VPH-AR, por lo cual la detección del material genético viral tiende a suplantar al Papanicolaou en el tamizaje contra el CaCu. Nosotros demostramos que en la capital de SLP las lesiones neoplásicas del cérvix son más frecuentes y severas entre las mujeres más jóvenes y empleamos un método de amplificación seguida de restricción (PCR-RFLP) para tipificar los VPH-AR en mujeres con displasias y CaCu residentes en el estado de San Luis Potosí.

¹ Proyecto FOMIX: SLP-2006-C01-62319

Monto aprobado y total: \$790,000.00

² Del Laboratorio de Biotecnología Médica y Pecuaria, División de Biología Molecular, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.



El tipo 16 (VPH16) tuvo la más alta prevalencia y fue seguido por el tipo 31 en lugar del 18, esperado en segundo lugar. Estos hallazgos plantearon la necesidad de caracterizar la distribución geográfica de los VPH-AR circulantes para evaluar la eficacia potencial de las vacunas actuales contra VPH, investigar si la prevalencia y severidad de las lesiones neoplásicas en las mujeres jóvenes de la capital podría deberse a una variante más oncogénica de VPH16, probar diversos marcadores moleculares virales y genéticos para evaluar más objetivamente el riesgo y la progresión de las lesiones del CaCu y consolidar la Red de Investigación del Cáncer Cervicouterino.

► Palabras clave

Cáncer cervicouterino; virus del papiloma humano; epidemiología molecular.

► Introducción

Cáncer cervicouterino

El cáncer cervicouterino (CaCu) es la segunda causa de muerte por cáncer entre las mujeres del mundo y en México (Pisani y col., 1999, 2002).

En el año 2000, 80% de los casi 500 mil nuevos casos y las 190 mil defunciones globales por CaCu ocurrieron en el mundo en desarrollo, dentro del cual los países latinoamericanos tienen tasas de incidencia sólo superadas por los países de África Oriental (Lewis, 2004).

Papilomavirus

Zur Hausen (1988) demostró que la infección persistente por virus del papiloma humano (VPH) —cuyo material genético es ácido desoxirribonucleico (ADN) de cadena doble y estructura circular (“episomal”) de unos 8 mil pares de bases de largo— es responsable de la transformación neoplásica del epitelio del cuello uterino. Actualmente se acepta que los VPH son los agentes de transmisión sexual más comunes (Volkow y col., 2001) y que la infección por tipos virales de alto riesgo es un factor necesario para el desarrollo del CaCu (Muñoz y col., 1993; Walboomers y col., 1999).

La proliferación descontrolada del epitelio cervical resulta de la expresión de las oncoproteínas virales E6 y E7 que bloquean a dos proteínas clave con actividad supresora de tumores: retinoblastoma (Rb) y p53 (Dyson y col., 1989). Tres procesos pueden incrementar la expresión de las oncoproteínas virales y la transformación neoplásica: 1) un alto número de copias del genoma de VPH (el ADN de VPH16 aumenta varios órdenes de magnitud al aumentar el grado de la enfermedad cervical) (Kozuka y col., 2000); 2) mutaciones que afectan los motivos yy1 en la región larga de control del genoma viral

(Kozuka y col., 2000); y 3) integración del ADN viral al genoma celular (el marco de lectura abierto del gen E2, cuyo producto reprime al promotor P97 de los genes E6 y E7, es interrumpido o destruido preferentemente durante la integración) (Swan y col., 1999).

La integración del genoma viral es más frecuente en las lesiones de alto grado y también parece aumentar la velocidad de progresión hacia el cáncer invasor (Nagao y col., 2002).

VPH genitales: tipos de alto y bajo riesgo

Se reconocen más de 100 tipos de VPH, de los cuales unos 40 infectan el aparato genital (De Villiers, 2001).

Se consideran de bajo riesgo (VPH-BR) los tipos que se encuentran en verrugas y lesiones benignas, y de alto riesgo los que se encuentran en carcinomas (VPH-AR). Los principales VPH-BR son once (6, 11, 40, 42, 43, 44, 54, 61, 70, 72, 81), y los VPH-AR son 15 (16, 18, 31, 33, 35, 39, 45, 51, 52, 56, 58, 59, 68, 73 y 82) (Muñoz y col., 2003).

Algunas variantes de VPH más oncogénicas tienen mayor prevalencia en países en desarrollo, donde contribuyen a las elevadas tasas de incidencia y mortalidad. En México, 25% de los casos de CaCu invasor se atribuyen a la variante asiático-americana (AA) de VPH16, y la probabilidad de desarrollar cáncer invasor por esta variante es mayor que por la variante europea (Berumen y col., 2001).

La amplificación por PCR es el método más flexible para abordar la detección, genotipificación, carga viral, secuenciación y análisis de mutantes de VPH (Monk y col., 1994; Schiffman y col., 1991). Es también el método más sensible, pues permite detectar desde 10 moléculas de genoma viral presentes en una muestra.

El método de PCR-RFLP (Fujinaga y col., 1991) consiste en la amplificación de secuencias de VPH para obtener productos de una región del genoma que luego son sometidos al análisis del polimorfismo de la longitud de sus fragmentos de restricción (en inglés, restriction fragment length-polymorphism, RFLP). Constituye la tecnología de entrada a los métodos de tipificación (Hubbard, 2003) y es el más sencillo para detectar cambios de secuencia, porque los instrumentos necesarios para llevarla a cabo son accesibles y no requiere isótopos radiactivos (Mas-Oliva, 2004).

Nosotros empleamos un método de PCR-RFLP para detectar los siete tipos más frecuentes de VPH-AR genitales (López-Revilla y col., 2008), pero para este proyecto decidimos usar el método de PCR multiplex anidada (PCR-MA) de Sotlar y col. (2004), que permite identificar 20 tipos de VPH genitales: 13 de alto riesgo y siete de bajo riesgo.

Epidemiología del CaCu y la infección por VPH en San Luis Potosí

Nuestro grupo estudió la prevalencia de lesiones neoplásicas del cérvix en la población abierta de tres de las cuatro zonas del estado de San Luis Potosí (Centro, Altiplano, Media). Las lesiones neoplásicas fueron más prevalentes y severas entre las mujeres más jóvenes de la capital del estado (Rosales-Ortuño y col., 2003).

Al tipificar los VPH-AR mediante PCR-RFLP encontramos que VPH16 tuvo la más alta prevalencia, seguido por el tipo 31 y no por el tipo 18, que era el esperado en segundo lugar. Por otra parte, encontramos que 20% de las mujeres estudiadas tenían infecciones simultáneas por dos o tres tipos de VPH-AR (López-Revilla y col., 2008).

Estos hallazgos, relevantes para decidir la aplicación de vacunas profilácticas contra la infección por VPH —tal como la vacuna tetravalente dirigida contra los tipos 16 y 18 de alto riesgo y 6 y 11 de bajo riesgo—, plantearon la necesidad de estudiar mejor la infección del cérvix por VPH y atender la demanda de tipificación en el estado.

Progresión y riesgo de CaCu

Las mujeres atendidas en el programa de detección oportuna del CaCu son sujetas a exploración ginecológica y toma de raspados cervicales analizados con el método de Papanicolaou.

Las lesiones neoplásicas diagnosticadas por análisis microscópico de las células cervicovaginales con el método de Papanicolaou se clasifican en tres tipos de severidad creciente: 1) células escamosas atípicas de significado indeterminado (ASCUS); 2) lesión intraepitelial escamosa de bajo grado (LSIL); y 3) lesión intraepitelial escamosa de alto grado (HSIL) que incluye al cáncer invasor (Solomon y col., 2002). El diagnóstico citológico convencional detecta un exceso de mujeres con resultados no concluyentes (ASCUS, LSIL), sin lesiones significativas o con lesiones que regresan espontáneamente. Estas limitaciones provocan una elevada sobrecarga asistencial para el diagnóstico y tratamiento (Puig-Tintoré, 2003).

Biomarcadores moleculares de riesgo y progresión del CaCu

Las pruebas ideales de biomarcadores moleculares para determinar la progresión de las lesiones neoplásicas del CaCu que complementen o suplanten al Papanicolaou deben tener alto valor predictivo positivo y negativo e identificar exclusivamente mujeres con enfermedad significativa (HSIL) y potencial de progresión hacia el cáncer invasor.

En este proyecto nos propusimos montar los métodos para analizar la carga viral, la integración del genoma de VPH16 y la expresión de la proteína p16^{INK4a} como marcadores de progresión de las lesiones neoplásicas y el polimorfismo del gen p16^{INK4a} como marcador de riesgo de desarrollar CaCu invasor.

Carga viral e integración de VPH

La carga viral elevada (medida por el número de copias de genoma de VPH) y la integración del genoma viral son más frecuentes en las lesiones de alto grado y parecen aumentar la velocidad de progresión hacia el cáncer invasor (Nagao y col., 2002).

La PCR en tiempo real o cuantitativa (qPCR) se emplea para determinar indirectamente el estado físico del genoma de VPH16 porque distingue la forma episomal pura de las formas mixtas (i.e., episomal e integrada) del ADN de VPH16 (Nagao y col., 2002). Se basa en la interrupción preferente del gen E2 durante la integración del genoma viral, que se acompaña de pérdida de ciertas secuencias del mismo gen. El número de copias del oncogén E6 y del gen E2 son equivalentes en las formas episomales, en tanto que el número de copias del gen E2 es menor que el de E6 en las formas mixtas (episomal e integrada) y nulo en las formas integradas puras (Nagao y col., 2002).

Polimorfismo y expresión del gen p16^{INK4a}

Ciertas mutaciones puntuales (“polimorfismos” o “SNP”) del gen p16^{INK4a} están asociados a la progresión tumoral en pacientes con cáncer colorrectal (McCloud y col., 2004). Por otra parte, la proteína p16^{INK4a} es un buen marcador de la progresión de lesiones neoplásicas porque se sobreexpresa únicamente en las células basales o parabasales del epitelio del cuello uterino con lesiones inducidas por VPH-AR con desregulación celular debida a la expresión de los oncogenes virales (Puig-Tintoré, 2003; Agoff y col., 2003; Wang y col., 2004; Volgareva y col., 2004).

El interés en el gen p16^{INK4a} y sus alelos polimórficos deriva de abundantes evidencias sobre su papel en la supresión de tumores. En muchas genealogías de melanoma familiar las mutaciones de p16^{INK4a} segregan con la enfermedad y una fracción significativa de carcinomas primarios y esporádicos del esófago y páncreas tiene mutaciones puntuales de p16^{INK4a} (Enders, 2003). McCloud y col. (2004) han asociado los polimorfismos de p16^{INK4a} con la progresión tumoral en pacientes con cáncer colorrectal. A pesar de estos antecedentes, hasta este proyecto no se había tratado de evaluar el polimorfismo del gen p16^{INK4a} como factor de riesgo del CaCu.

Red de Investigación del Cáncer Cervicouterino

En vista del interés creciente sobre el CaCu y la infección por VPH en San Luis Potosí, decidimos consolidar la Red de Investigación del Cáncer Cervicouterino como grupo multidisciplinario que contribuya al avance y difusión del conocimiento de este problema de salud pública y coadyuve a su control y prevención en el estado.

► Demanda que atendió el proyecto

Este proyecto atendió la demanda de investigación sobre aspectos epidemiológicos, clínicos, de investigación básica y de los sistemas de atención a la salud en el estado de San Luis Potosí.

► Objetivos

Los objetivos del proyecto fueron la ampliación de las bases de la epidemiología molecular de la infección por VPH genitales, el desarrollo de métodos para evaluar el riesgo y la progresión de las lesiones neoplásicas del cuello uterino y la consolidación de la Red de Investigación del Cáncer Cervicouterino en el estado de San Luis Potosí.

► Desarrollo del proyecto

Visitamos las Clínicas de Colposcopia de las seis jurisdicciones sanitarias de los Servicios de Salud del estado ubicadas en la capital (1 y 2), Matehuala (3), Rioverde (4), Ciudad Valles (5) y Tamazunchale (6), para obtener los raspados del cérvix y adiestrar al personal en la toma de muestras.

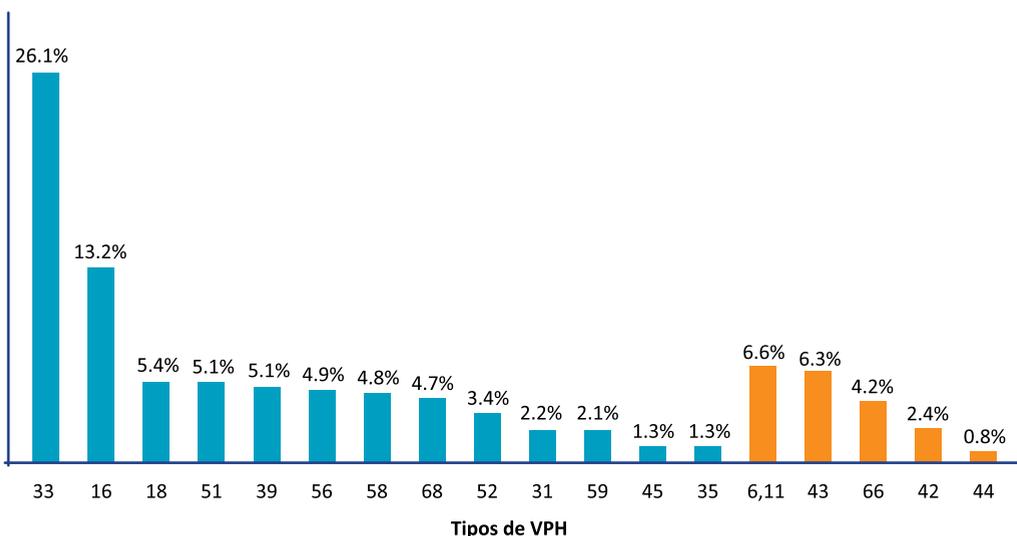
Elaboramos la base de datos clínicos, sociodemográficos y de laboratorio de las mujeres muestreadas. Analizamos los resultados del proyecto y los estamos transfiriendo al personal de la Subdirección de Salud Reproductiva y a las clínicas de colposcopia para actualizarlo y mejorar el control y la prevención de la infección por VPH y del CaCu en el estado.

► Productos

“Variante potosina” de VPH16

En la ciudad de San Luis Potosí identificamos tres variantes del subtipo Europeo de VPH16 (E-P A334G, 22 casos; E-P Ref, 4 casos; E-P A404T, 1 caso) y la variante AA-a (2 casos) del subtipo asiático-americano de VPH16. La variante E-P A334G, más oncogénica que la variante prototípica del subtipo Europeo, no había sido descrita y parece característica de la capital del estado (López-Revilla y col., 2009).

Figura. 1. Frecuencia general de los tipos de VPH de alto riesgo y de bajo riesgo en las seis jurisdicciones sanitarias del estado de San Luis Potosí



El método de PCR-MA (Sotlar y col. 2004) permitió identificar 17 tipos de VPH circulantes en todo el estado de San Luis Potosí: 11 de alto riesgo (AR) y seis de bajo riesgo (BR). La gráfica muestra las frecuencias porcentuales de los tipos de alto y bajo riesgo en orden descendente. VPH-AR: 33, 16, 18, 51, 39, 56, 68, 52, 31, 59, 45 y 35. VPH-BR: 6, 11, 43, 66, 42 y 44.

Además, desarrollamos un método de clonación del genoma de VPH para seguir caracterizando los subtipos y variantes característicos de la región mediante el análisis de nuestra colección de raspados cervicales (Magaña, 2009).

Tipos de VPH circulantes

Determinamos la prevalencia de la infección cervical por los tipos de VPH de alto y bajo riesgo en las seis jurisdicciones sanitarias con el método de PCR-MA (Sotlar y col., 2004). Sorpresivamente encontramos que el tipo más frecuente de VPH-AR fue el 33, con el doble de casos que el tipo 16 (Figura. 1), que había sido el más frecuente en un estudio previo (López-Revilla y col., 2008).

Estos resultados implican que en esta región la eficacia de las vacunas actuales (dirigidas contra los tipos 6, 11, 16 y 18) podría ser insuficiente, ya que entre las mujeres potosinas la frecuencia combinada de los tipos 16 y 18 de alto riesgo apenas llega a 18.6% y la de los tipos 6 y 11 de bajo riesgo a 6.6% de todas las infecciones por VPH genitales.

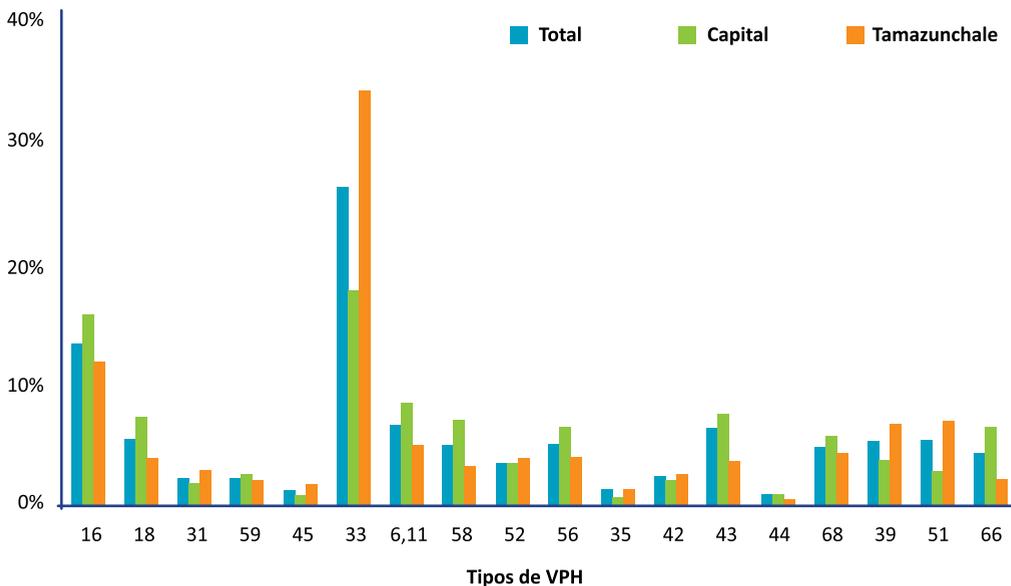
Por otra parte, la distribución general de los tipos de VPH en el estado es diferente al promedio global y varía en cada jurisdicción sanitaria, como ejemplifican las diferencias del tipo 33 entre la capital y el sur de la Huasteca potosina (Figura. 2).

Carga viral e integración de VPH16

Aumentamos notablemente la sensibilidad de la qPCR para los genes E2 y E6 de VPH16 mediante amplificación sucesiva de una secuencia más larga y luego de otra más corta incluida en la primera (“qPCR anidada”) empleando el fluorocromo EvaGreen. Este avance ya fue publicado (Hernández-Arteaga y López-Revilla, 2010) y esperamos que tenga amplia aplicación en biología molecular.

Al cuantificar los genes E6 y E2 para determinar la carga viral y la integración del genoma de VPH16 descubrimos que durante la infección del cérvix las mutaciones por delección (i.e., pérdida) de segmentos del genoma viral ocurren con frecuencia similar en los genes E2 y E6. Este hallazgo abre nuevas perspectivas en el estudio de la replicación y la transformación neoplásica por VPH.

Figura. 2. Frecuencia de los tipos de VPH general, en la capital del estado y en el sur de la Huasteca



Polimorfismos y expresión del gen p16^{INK4}

Hemos simplificado el método para identificar los SNP del gen p16 y lo hemos aplicado en dos líneas de células humanas y en 20 pacientes, así como en un estudio de casos y controles (mujeres con CaCu vs. mujeres sin displasia cervical).

Dos alelos de p16^{INK4} fueron más frecuentes en mujeres con CaCu invasor y un alelo fue menos frecuente en las mujeres control. Los alelos sobrerrepresentados podrían aumentar el riesgo de desarrollar CaCu y el subrepresentado disminuirlo.

Actualmente estamos analizando biopsias seriadas de las mismas pacientes para correlacionar la progresión de las lesiones neoplásicas con la expresión inmunocitoquímica de la proteína p16 en el tiempo.

Red de Investigación del CaCu

Las visitas a las clínicas de colposcopia nos permitieron capacitar e incorporar a la Red de Investigación al personal que colaboró en el proyecto. A continuación enlistamos a los principales participantes en el proyecto:

- Dr. Rubén López Revilla. Investigador Titular, División de Biología Molecular (DBM) del IPICYT. Responsable técnico del proyecto.
- Dr. Cuauhtémoc Oros Ovalle. Jefe del Departamento de Anatomía Patológica, Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto. Colaborador clave para el estudio de la epidemiología y el trabajo sobre el gen p16.
- Dr. Julio Castelo Ruelas. Jefe de la División de Ginecología y Obstetricia y de la Clínica de Displasias, Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto. Ha colaborado en el trabajo de casos y controles para analizar la expresión del gen p16.
- Dr. Julio Ortiz Valdez. Jefe de la Clínica de Colposcopia, Jurisdicción Sanitaria 1 (ciudad de San Luis Potosí). Ha participado en la toma de muestras y en la emisión de diagnósticos clínicos y colposcópicos.
- Dra. Sandra Olimpia Gutiérrez. Investigadora, Facultad de Enfermería (FE) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Ha colaborado en los trabajos de epidemiología y tipificación de VPH.
- Dra. Olimpia Porras Flores. Jefa, Clínica de Colposcopia de Matehuala. Ha participado en la toma de muestras de su clínica.
- Dr. Héctor Navarro Tristán. Jefe, Clínica de Colposcopia de Rioverde. Ha participado en la toma de muestras de su clínica.
- Dra. Claudia Mireya Gutiérrez. Jefa, Clínica de Colposcopia de Tamazunchale. Ha participado en la toma de muestras de su clínica.

- Biól. Mireya Guadalupe Sánchez Garza. Técnica Académica, DBM-IPICYT. Ha participado en el adiestramiento y supervisión de estudiantes para la tipificación de VPH, en la colecta de muestras y el registro de datos clínicos.
- Dra. Yolanda Terán Figueroa. Investigadora, FE-UASLP. Ha participado en las visitas a las clínicas de colposcopia, la colecta de muestras y el registro de datos clínicos.
- M.S.P. Ma. Ángela Torres López. Asociada al trabajo de laboratorio y epidemiológico, obtuvo la maestría de la FE-UASLP con una tesis codirigida por Yolanda Terán Figueroa y Rubén López Revilla.
- Q.F.B. Raúl de la Rosa Martínez. Encargado de la tipificación de VPH con el método de PCR-MA, montado por él. Adiestró y supervisó estudiantes, participó en la colecta de muestras y desarrolló la base de datos clínicos.
- M.C. Luisa Eugenia del Socorro Hernández Arteaga. Candidata al doctorado en biología molecular del IPICYT. Trabajó en la cuantificación de los genes E2 y E6 de VPH mediante qPCR y su relación con la integración y el grado de las lesiones. Adiestró y supervisó estudiantes en la teoría y práctica de la qPCR.
- M.C. Juan Manuel Mendoza Hernández. Candidato al doctorado en biología molecular del IPICYT. Investigó los polimorfismos y la expresión del gen p16^{INK4a}.
- M.C. Claudia Magaña León. Obtuvo la maestría en biología molecular con una tesis sobre la clonación de las variantes de VPH. Acaba de hacer una estancia con la Dra. Silvia de Sanjosé (Instituto Catalán de Oncología, Barcelona) para tipificar VPH en tumores archivados en bloques de parafina.
- Ing. Bioq. Miriam Reynoso Villanueva. Obtuvo el título profesional del Instituto Tecnológico de Celaya con una tesis que optimizó las condiciones de la PCR-MA.

Artículos publicados

- López-Revilla R, Martínez-Contreras LA, Sánchez-Garza M. "Prevalence of high-risk human papillomavirus types in Mexican women with cervical intraepithelial neoplasia and invasive carcinoma". *Infectious Agents and Cancer* 3:3, 2008.
<http://www.infectagentscancer.com/content/3/1/3>
- Hernández-Arteaga S, López-Revilla R. "Quantitation of human papillomavirus type 16 E6 oncogene sequences by real-time or quantitative PCR with EvaGreen". *Analytical Biochemistry* 380:131-133, 2008.
- López-Revilla R, Pineda MA, Ortiz-Valdez J, Sánchez-Garza M, Riego L. "Human papillomavirus type 16 variants in cervical intraepithelial neoplasia and invasive carcinoma in San Luis Potosi City, Mexico." *Infectious Agents and Cancer* 4:3, 2009.
<http://www.infectagentscancer.com/content/4/1/3>

Participaciones en congresos

II Foro Estatal Interinstitucional de Investigación en Salud. San Luis Potosí, SLP, Febrero de 2008:

- De la Rosa R, López-Revilla R. “Comparación de dos métodos de PCR para tipificar virus del papiloma humano”.
- Mendoza Hernández JM, Castelo J, Oros Ovalle C, Benítez Bribiesca L, García Carrancá A, López Revilla R. “Sobreexpresión de p16^{INK4A} como marcador de progresión tumoral en el cáncer cervicouterino”.
- Hernández Arteaga LES, López Revilla R. “Cuantificación del oncogén E6 del virus del papiloma humano tipos 16 por PCR en tiempo real con Eva Green”.

III Foro Estatal Interinstitucional de Investigación en Salud. San Luis Potosí, SLP, Febrero de 2009:

- Magaña-León C, Sánchez-Garza M, López-Revilla R. “Protocolo para clonar la ‘variante potosina’ del virus del papiloma humano tipo 16”.
- Mendoza Hernández JM, López-Revilla R. “Nuevo método para identificar los genotipos C/G500 y C/T540 del gen supresor de tumores p16”.

VI Congreso Nacional de Virología, Rama de Virología de la Sociedad Mexicana de Bioquímica. Mérida, Yuc, Noviembre de 2009:

- Magaña-León C, Sánchez-Garza M, López-Revilla R. “Clonación del virus del papiloma humano tipo-16”.
- Mendoza-Hernández JM, López-Revilla R. “Polimorfismos del gen p16^{INK4a} en dos líneas celulares y en un grupo de mujeres mexicanas”.
- De la Rosa Martínez R, Reynoso-Villanueva M, Torres-López A, Ortiz-Valdez J, Terán-Figueroa Y, López-Revilla R. “Prevalencia inesperada de virus del papiloma humano (VPH) en mujeres de la ciudad de San Luis Potosí”.
- Anguiano-Vega G, Campillo-Devora A, López-Revilla R. “Estimación de la carga e integración de VPH16 en displasias cervicales y CaCu por qPCR anidada”.

Cuarta Reunión de la Sociedad Mexicana del Virus del Papiloma. México, DF, Junio de 2010:

- Magaña-León C, Sánchez-Garza M, Esquer Garrigós Z, López-Revilla R. “Clonación del genoma de virus del papiloma humano tipo 16 mediante PCR de largo alcance”.

- Mendoza-Hernández JM, Castelo J, García I, López-Revilla R. “Los polimorfismos del gen p16^{INK4a} son marcadores de riesgo del cáncer cervicouterino”.
- Hernández-Arteaga S, López-Revilla R. “Cuantificación ultrasensible del oncogén E6 del papilomavirus humano tipo 16 mediante qPCR anidada con EvaGreen”.
- Campillo-Devora P, Anguiano-Vega GA, López-Revilla R. “Estimación de la carga e integración de VPH16 mediante qPCR anidada con EvaGreen”.

► Conclusiones y beneficios

1. En el estado de San Luis Potosí la distribución general de los tipos de VPH varía en cada jurisdicción sanitaria y la eficacia de las vacuna tetravalente actual —dirigida contra los tipos de VPH de alto riesgo 16 y 18 y de bajo riesgo 6 y 11— podría ser insuficiente, dado que la frecuencia combinada de los tipos 16 y 18 es de 18.6% y la de los tipos 6 y 11 es de 12.9% en contraste con la frecuencia del tipo 33, el más prevalente, que es de 26.1%.
2. Hemos identificado una variante de VPH16 del subtipo Europeo, más oncogénica que la prototípica, característica de la ciudad de San Luis Potosí y contamos con un método de clonación para seguir caracterizando los subtipos y variantes característicos de la región.
3. Aumentamos la sensibilidad de la PCR cuantitativa para determinar la carga viral y la integración de VPH16 y encontramos que las deleciones del gen E6 son tan frecuentes como las del gen E2. Este hallazgo abre nuevas perspectivas en el estudio de la replicación y la transformación neoplásica por VPH.
4. Con el método simplificado para identificar los SNP del gen p16 y encontramos dos alelos que aumentan y uno que disminuye el riesgo de CaCu.
5. Hemos empezado a ofrecer el servicio de tipificación de VPH al público.
6. Hemos transferido los productos del proyecto y consolidado la Red de Investigación del CaCu con el personal de las clínicas de colposcopia del estado.

► Referencias

Agoff SN, Lin P, Morihara J, Mao C, Kiviat NB, Koutsky LA. “p16^{INK4a} expression correlates with degree of cervical neoplasia: a comparison with ki-67 expression and detection of high-risk HPV types”. *Mod Pathol* 16:665-673, 2003

Berumen J, Ordóñez RM, Lazcano-Ponce E, Salmerón J, Galván SC, Estrada RA. “Asian American variants of human papillomavirus 16 and risk for cervical cancer: a case-control study”. *J Natl Cancer Inst* 93:1325-1330, 2001

De Villiers E-M. “Taxonomic classification of papillomaviruses”. *Papillomavirus Rep* 12:57-63, 2001

Dyson N, Howley PM, Munger K, Harlow E. "The human papilloma virus-16 E7 protein is able to bind to the retinoblastoma gene product". *Science* 243:934-937, 1989

Enders GH. "The ink4a/arf locus and human cancer". *Methods Mol Biol* 222: 197-209, 2003

Fujinaga Y, Shimada M, Okasawa K, Fukushima M, Kato I, Fujinaga K. "Simultaneous detection and typing of genital human papillomavirus using the polymerase chain reaction". *J Gen Virol* 72:1039-1044, 1991

Hernández-Arteaga S, López-Revilla R. "Ultrasensitive quantitation of human papillomavirus type 16 E6 oncogene sequences by nested real time PCR". *Infect Agent Cancer*. 5:9, 2010

Hubbard RA. "Human papillomavirus testing methods". *Arch Pathol Lab Med* 127:940-946, 2003

Kozuka T, Aoki Y, Nakagawa K, Ohtomo K, Yoshikawa H, Matsumoto K, Yoshiike K, Kanda T. "Enhancer-promoter activity of human papillomavirus type 16 long control regions isolated from cell lines SiHa and Caski and cervical cancer biopsies". *Jpn J Cancer Res* 91:271-279, 2000

Lewis, MJ. *Análisis de la situación del cáncer cervicouterino en América Latina y el Caribe*. Organización Panamericana de la Salud. Washington, 2004

López-Revilla R, Martínez-Contreras LA, Sánchez-Garza M. "Prevalence of high-risk human papillomavirus types in Mexican women with cervical intraepithelial neoplasia and invasive carcinoma". *Infectious Agents and Cancer* 3:3, 2008

López-Revilla R, Pineda MA, Ortiz-Valdez J, Sánchez-Garza M, Riego L. "Human papillomavirus type 16 variants in cervical intraepithelial neoplasia and invasive carcinoma in San Luis Potosi City, Mexico". *Infectious Agents and Cancer* 4:3, 2009

Magaña León, Claudia. "Clonación de la variante potosina del virus del papiloma humano tipo 16". Tesis de Maestría en Ciencias (Biología molecular), IPICYT. Agosto 3, 2009

Mas-Oliva J. *Diagnóstico molecular en medicina. Manual Moderno*. México, 2004

McCloud JM, Sivakumar R, Greenhough A, Elder J, Jones PW, Deakin M, Elder JB, Fryer AA, Hoban PR. "p16^{INK4a} polymorphism: associations with tumour progression in patients with sporadic colorectal cancer". *Int J Oncol* 25: 1447-1452, 2004

Monk BJ, Cook N, Ahn C, Vasilev SA, Berman ML, Wilczynski SP. "Comparison of the polymerase chain reaction and Southern blot analysis in detecting and typing human papillomavirus virus deoxyribonucleic acid in tumors of the lower female genital tract". *Diagn Mol Pathol* 3:283-291, 1994

Muñoz N, Bosch X, De San José S, Herrero R, Castellsagué X, Shah Kv, Snijders Pj, Meijer Cj. "International Agency for Research on Cancer Multicenter Cervical Cancer Study Group. Epidemiologic classification of human papillomavirus types associated with cervical cancer". *N Engl J Med* 348:518-527, 2003

Muñoz N, Bosch X, De Sanjosé S, Vergara A, Del Moral A, Muñoz MT, Tafur L, Gili M, Izarzugaza I, Viladiu P. "Risk factor for cervical intraepithelial neoplasia grade III/ carcinoma in situ in Spain and Colombia". *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2:423-431, 1993

Nagao S, Yoshinouchi M, Miyagi Y, Hongo A, Kodama J, Itoh S, Kudo T. "Rapid and sensitive detection of physical status of human papillomavirus type 16 ADN by quantitative real-time PCR". *J Clin Microbiol* 40:863-867, 2002

Pisani P, Bray F, Parkin DM. "Estimates of the worldwide prevalence of cancer for 25 sites in the adult population". *Int J Cancer* 97:72-81, 2002

Pisani P, Parkin Dm, Bray F, Ferlay J. "Estimates of the worldwide mortality from 25 cancers in 1990". *Int J Cancer* 83:18-29, 1999

Puig-Tintoré LM, Menéndez AA, Bordoy XC, Bosch FX, Bladé AT, Castellsagué X, Vidart JA, Capdevila CC, Vilaplana E. *La infección por papilomavirus*. Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia. 2003

Rosales-Ortuño L, Rodríguez-Nieto MT, López-Revilla R. "An outbreak of cervical cancer in San Luis Potosí, Mexico". En: Monsonego J (ed) Proceedings of the 5th International Multidisciplinary Congress Eurogin 2003, Preventing and Controlling Cervical Cancer in the New Millenium. Monduzzi Editore, Boloña, pp 341-344

Schiffman MH, Bauer HM, Lorincz AT, Manos MM, Byrne JC, Glass AG, Cadell DM, Howley PM. "Comparison of Southern blot hybridization and polymerase chain reaction methods for the detection of human papillomavirus". *J Clin Microbiol* 29:573-577, 1991

Solomon D, Davey D, Kurman R, Moriarty A, O-Connor D, Prey M, Raab S, Sherman M, Wilbur D, Wright Jr T, Young N. "The 2001 Bethesda System terminology for reporting results of cervical cytology". *JAMA* 287: 2114-2119, 2002

Sotlar K, Diemer D, Dethleffs A, Hack Y, Stubner A, Vollmer N, Menton S, Menton M, Dietz K, Wallwiener D, Kandolf R, Bultmann B. "Detection and typing of human papillomavirus by e6 nested multiplex PCR". *J Clin Microbiol* 42(7): 3176-3184, 2004

Swan DC, Tucker RA, Tortolero-Luna G, Mitchell MF, Wideroff L, Unger ER, Nisenbaum RA, Reeves WC, Icenogle JP. "Human papillomavirus (HPV) ADN copy number is dependent on grade of cervical disease and HPV type". *J Clin Microbiol* 37:1030-1034, 1999

Volgareva G, Zavalishina L, Andreeva Y, Frank G, Krutikova E, Golovina D, Bliev A, Spitkovsky D, Ermilova V, Kisseljov F. "Protein p16 as a marker of dysplastic and neoplastic alterations in cervical epithelial cells". *BMC Cancer* 4:58, 2004

Volkow P, Rubí S, Lizano M, Carrillo A, Vilar-Compte D, García-Carrancá A, Sotelo R, García B, Sierra-Madero J, Mohar A. "High prevalence of oncogenic human papillomavirus in the genital tract of women with human immunodeficiency virus". *Gynecol Oncol* 82:27-31, 2001

Walboomers J, Jacobs M, Manos MM, Bosch FX, Kummer JA, Shah KV. "Human papillomavirus is a necessary cause of invasive cervical cancer worldwide". *J Pathol* 189:12-19, 1999

Wang JL, Zheng BY, Li XD, Angström T, Lindström MS, Wallin KL. "Predictive significance of the alterations of p16ink4a, p14arf, p53, and proliferating cell nuclear antigen expression in the progression of cervical cancer". *Clin Cancer Res* 10:2407-2414, 2004

Zur Hausen H. "Papillomavirus in human cancers". *Mol Carcinog* 1:147-150, 1988



OPTIMIZACIÓN DE OPERACIÓN DE PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES¹

Lorenzo Cerda Guerrero (resp. téc.),² Miguel Ángel García Galván (resp. admvo.), Manuel Serrano Rayón, Abrahán López Arcivar, Juan Pablo Carrizales Muñiz, Gabriel Sandoval Alvarado, José Ángel Mata Briones, Martiniano Nieto, Marcos G. Monroy Fernández y Fernando Manzanique Rodríguez

► Introducción

La compañía Canel's, SA de CV, es una empresa mexicana del ramo de la confitería ubicada en la zona industrial de San Luis Potosí. Entre las prioridades de la empresa está la implementación de estrategias que permitan el manejo sustentable del agua en sus procesos. En el año 2006 fue construida una PTAR en las instalaciones de la empresa con el fin de tratar las aguas residuales originadas de sus procesos productivos y evitar impactos ambientales por sus descargas. Lo anterior, no solamente evitaría la contaminación de los cuerpos de agua receptores, sino también utilizar el agua tratada para diferentes fines en el interior de la empresa. El reúso del agua tratada permite disminuir considerablemente la demanda de agua potable en la compañía, buscando con ello estrategias que fomenten una mayor competitividad de la misma. Para lograr el reúso del agua tratada en la PTAR, es necesario lograr una excelente calidad del efluente.

¹ Proyecto FOMIX: SLP-2006-C01-63119

Monto aprobado: \$285,000.00

Aportaciones concurrentes: \$285,000.00

Monto total: \$570,000.00

² Responsable Técnico de la Empresa Canel's de San Luis Potosí.





Por tal motivo, es necesario garantizar que cada una de las operaciones unitarias involucradas en el tratamiento funcionen de manera óptima. Inicialmente, la PTAR no contaba con personal con los conocimientos ni la experiencia requerida para lograr la estabilización y optimización de la misma. De hecho, actualmente en nuestro país existe muy poco personal capacitado para manejar adecuadamente este tipo de instalaciones. Además, la mayoría de las construcciones de este tipo son desarrolladas por empresas extranjeras, por la escasa capacidad nacional para desarrollar tecnología adecuada. Por ello, es necesario establecer alianzas entre las empresas y los centros de investigación para abordar de manera conjunta la problemática ambiental generada por la descarga de aguas residuales industriales.

El presente proyecto contempló la capacitación del personal a cargo de la PTAR en la empresa con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la misma. Se contará con un manual de operación que contemple las estrategias a seguir para garantizar el funcionamiento eficiente de la PTAR. Además, se implementarán estrategias hasta lograr la estabilización de los digestores anaerobios, con el especial énfasis en el control del PH. Al inicio del proyecto no se tenía un control preciso del PH en los mismos. Por otra parte, el proyecto contempla la evaluación de diferentes tasas de recirculación en los reactores tipo UASB, con el fin de optimizar el control del PH mediante la alcalinidad generada en el proceso de depuración del agua.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Desarrollo e innovación de procesos y productos que eleven la competitividad de las empresas en ramas estratégicas para el estado de San Luis Potosí, como alimentos y bebidas, metalmecánica, industria automotriz, químicos y minería. (Modalidad B Competitivo, con aportación de 50% del financiamiento de las empresas participantes).

► Objetivo general

Implementar un programa de innovación y aplicación de tecnología para la optimización de los procesos de operación de la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR) de la empresa Canel's, SA. Con este proyecto, se reitera el compromiso de la empresa por sustentar sus operaciones mitigando cualquier impacto en el ambiente y favoreciendo a la vez la vinculación de una empresa potosina con el sector académico y científico del estado. Este programa de innovación y aplicación de tecnología se completó mediante el fortalecimiento y consolidación del grupo técnico de la empresa, al vincularse con una institución con prestigio en el desarrollo y aplicación de programas de investigación tecnológica en materia ambiental (Centro de Estudios, Asesoría y Servicios en Sistemas Ambientales de la UASLP).



Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

La planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de Canel's inició operaciones en el año 2006, contando con dos líneas, cada una con una combinación anaerobia (UASB)-aerobia (lodos activados). El problema principal para su operación es el alto valor de DQO, así como el pH del agua cruda, el cual llega a disminuir a valores por debajo de 4. Estos valores de pH no son adecuados para el desempeño de las bacterias anaerobias, en particular de las bacterias anaerobias metanogénicas, cuya actividad es limitada a un pH por debajo de 6.8 en los reactores anaerobios. Al inicio, se tenía contemplado reducir la DQO del agua de alimentación en los reactores anaerobios en casi 60%, logrando sólo reducirla en 33 y 34%, respectivamente en cada tanque. El agua que sale de los reactores anaerobios descargaba a los reactores aerobios con una DQO remanente de 67%, mientras que en los reactores aerobios la eficiencia alcanzada era de 50 y 52%.

Las eficiencias de la planta que se alcanzaron en este tiempo fueron de 90 al 95% sin alcanzar tampoco la calidad del agua de descarga acorde a la NOM-003-SEMARNAT-1997 (30 mg-L⁻¹ DBO promedio mensual para servicio al público con contacto indirecto).

▶ Etapas del desarrollo del proyecto

Etapa 1

EL proyecto inició con la revisión de la memoria de cálculo de la operación de la PTAR. Con ello, se hicieron las correcciones en la ingeniería de la planta de tratamiento operada por Canel's. A partir de la revisión, se propusieron correcciones en el esquema del proceso y en la operación de la PTAR.

Las medidas correctivas aplicadas a la planta fueron las siguientes:

- Modificación del sistema de alimentación del agua cruda, partiendo del cárcamo de bombeo al tanque de homogenización (antes se usaba como digester 2 de lodos).
- Del tanque de homogenización se conectaron 2 líneas con válvulas para controlar la alimentación del agua, de tal manera que se permite alimentar independientemente a cada reactor anaerobio y cada reactor aerobio. Previo inicio del proyecto, sólo alimentaban a reactores anaerobios directamente del cárcamo de bombeo.
- Se alimentaron 30 m³ de biomasa anaerobia a cada reactor anaerobio y 90 m³ a cada reactor aerobio, se inició la neutralización y alimentación simultánea de agua con flujo controlado a los reactores anaerobios y aerobios del tanque homogenizador, estableciendo un pH de 7 en el tanque homogenizador como óptimo para poder alimentar los reactores anaerobios de modo que el valor del pH dentro de los reactores anaerobios y aerobios no disminuyera de 6.5.

- En la neutralización del agua de alimentación en el tanque homogenizador se usa cal; en los reactores anaerobios se usa sosa cáustica cuando se requiere subir el pH.
- Se modificó el sistema de retorno de lodos de los sedimentadores, esto para que haya un constante retorno de lodos hacia el reactor aerobio. Antes sólo se retornaban los lodos 2 veces por turno.
- Se inició con la medición de la demanda química de oxígeno (DQO) en el agua de alimentación y en los reactores aerobios. La DQO del agua de alimentación promedio es de 18000 mg.L⁻¹ y sale con un promedio de 4211 mg.L⁻¹.
- Para mejorar las condiciones de la aireación y bajar aún más la DQO de los reactores anaerobios, se diseñó una nueva alimentación de aire a los reactores aerobios, como se indicó en la revisión de la ingeniería de la planta referente a los sopladores.
- Para cumplir con la cuarta actividad referida (Contar con el equipo de medición instalado en planta), se compró e instaló el equipo para medición de pH en el tanque homogenizador y en los dos reactores anaerobios.
- En cuanto a la quinta actividad comprometida (Capacitar al personal), expertos técnicos del Grupo Imbrium, SA de CV, impartieron un curso de capacitación al personal técnico y operativo de la PTAR de Canel's sobre "Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: Anaerobia/Aerobia".

Etapa 2

Para la segunda etapa, se cumplieron las metas y actividades comprometidas para el proyecto en esta etapa, es decir:

- Se definió, elaboró e implementó el procedimiento para el control del pH. Se implementó y documentó el procedimiento.
- Se capacitó a los operadores de la PTAR para llevar a cabo el procedimiento de control del pH en los digestores anaerobios.
- Se efectuaron los cálculos correspondientes para estimar la cantidad de NaOH y cal requerida para la neutralización del influente y para definir la tasa óptima de recirculación para el control del pH. Con ello, se redujeron los costos para la neutralización, así como una disminución de la DQO en el efluente.
- Se entregó hoja de cálculo y se llevó a cabo una nueva revisión del diagrama de flujo de la PTAR, incluyendo esto los procedimientos de operación de la planta. A partir de todas las modificaciones propuestas hasta esta segunda etapa, tanto en su esquema de flujo, como en la alimentación de la biomasa y la optimización en la neutralización del influente, se logró incrementar la calidad química del efluente, lo cual se demostró mediante su análisis en un laboratorio acreditado. Los análisis demostraron que se alcanzaron los límites establecidos por la NOM-003-SEMAR-NAT-1997.

Etapa 3

Para la tercera etapa, se tenían dos metas específicas: (i) determinar la eficiencia de los reactores anaerobios con los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio en términos de DQO y la estimación de la cantidad de biogás producido; y (ii) terminar el manual de operación de la planta tratadora.

A pesar de haber incrementado sustancialmente tanto la eficiencia en la operación de la PTAR, como en la calidad química del efluente, al término de la segunda etapa aún no se alcanzaban las metas de eficiencia de la PTAR y de la calidad química del efluente con las propuestas tecnológicas implantadas para el proyecto.

En cuanto a la determinación de la eficiencia de los reactores anaerobios, se implantó el uso de una hoja de cálculo para calcular la eficiencia de los reactores.

Los beneficios del proyecto son reales, no potenciales, puesto que el usuario (Canel's) participó directamente en el proyecto. Además del incremento en el conocimiento tecnológico para este tipo de operaciones, la capacitación del personal, la mejora en la eficiencia de la PTAR y el incremento en la calidad química de las descargas, pueden considerarse los siguientes beneficios:

- Beneficios económicos: Disminución sustancial en el pago de cuotas a INTERAPAS por la descarga de aguas residuales de mejor calidad ambiental.
- Beneficio social: descarga de efluentes con mayor calidad ambiental, cercanos a los valores normativos vigentes (NOM-003-SEMARNAT-1997).

► Productos entregados

Los productos derivados de la investigación están todos documentados, siendo éstos los siguientes:

- Memorias de cálculo.
- Acciones correctivas realizadas a la planta tratadora.
- Mejora en la infraestructura para la medición y control de la operación de la PTAR .
- Establecimiento y mejoras en el procedimiento para la operación de la PTAR, incluyendo el control de pH.
- Revisión de Ingeniería y Diseño de la PTAR.



► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

Se cumplieron las metas y objetivos inicialmente propuestos en el proyecto. A partir de las propuestas del desarrollo implantadas directamente en la PTAR durante el proyecto, se alcanzaron las eficiencias del orden del 90-95%.

Los objetivos y metas alcanzados pueden entonces resumirse como sigue:

- Capacitación técnica del personal de operación de la PTAR.
- Equipamiento en sistemas de medición y control de la PTAR con base en una propuesta de mejora tecnológica.
- Modificación del esquema y de las condiciones de operación del proceso de la PTAR para incrementar su eficiencia.
- Documentación de la operación de la PTAR a través de hojas de cálculo.
- Incremento en la eficiencia de la planta y disminución de la DQO del efluente para cumplimiento de normativas ambientales.





SINALOA

PROTOCOLO DE MANEJO Y BIOSEGURIDAD PARA EL CULTIVO DE CAMARÓN EN JAULAS FLOTANTES¹

Dra. María Guadalupe Martha Zarain Herzberg²

► Introducción

En Sinaloa, como en diversas entidades de México, existen regiones con dificultad de crecimiento y desarrollo económico, situación originada principalmente por el declive de las actividades tradicionales en las zonas rurales y por rezagos en su infraestructura. En las zonas costeras, uno de los sectores más afectados es el de los habitantes de los campos pesqueros. Poniendo como caso tipo a Sinaloa, 11.45% de las viviendas no cuentan con techo de cemento, el contacto de los jóvenes con las drogas es de 9.3%, lo que supera el promedio estatal de 8.3 %. Hay un déficit de vivienda de 85%, y sólo 28% de las viviendas disponibles cuenta con un servicio de alcantarillado sanitario.

En Sinaloa la extensión de litoral costero es de 656 kilómetros y más de 70,000 hectáreas de aguas continentales, donde se localizan 154 comunidades pesqueras, con una fuerza laboral de 65,000 pescadores que se dedican principalmente a la captura de especies como el atún, camarón, tilapia, jaiba, ostión y escama, de los cuales 15 mil 500 son pescadores ribereños que trabajan con 11 mil 825 embarcaciones menores para captura

¹ Proyecto FOMIX: SIN-2005-C01-04

Monto aprobado: \$250,000.00

Otras aportaciones: \$72,900.00

Monto total: \$322,900.00

² Centro de Ciencias de Sinaloa.

de camarón y otras especies. Sin embargo, de acuerdo con estadísticas de SAGARPA, solamente en tres de las 10 últimas temporadas se han obtenido volúmenes aceptables; cifras que corroboran que los recursos marinos como el camarón y otras especies, como sucede en otras muchas partes del mundo, se han explotado por arriba de sus límites máximos sostenibles de producción anual.

Sin embargo, la actividad pesquera sigue teniendo gran importancia por la generación de empleos, la atracción de divisas y como factor de desarrollo regional. Pero al enfrentar la problemática de la sobreexplotación, la deficiente vigilancia, los intereses encontrados entre pescadores ribereños y de altamar, además que los pescadores no tienen el conocimiento de alguna otra alternativa productiva, no hay un avance sustantivo de esta actividad y el sector.

Como respuesta a esta situación se plantea la oportunidad de fomentar la tecnificación del sector a través de la diversificación de opciones productivas como la de cultivar especies acuícolas (maricultura) en función de su potencial productivo y de mercado, por lo que el cultivo de camarón en jaulas flotantes podrá fomentar la creación de nuevas fuentes de empleo e ingreso a familias de pescadores.

► **Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal**

Desarrollo de protocolos de manejo y biodiversidad para la producción de camarón y pargo cultivado en jaulas flotantes.

► **Objetivo general**

Establecer un protocolo en la instalación, manejo, medidas sanitarias y bioseguridad para la operación del sistema de cultivo en jaulas flotantes para camarón.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

Actualmente nuestros estudios de producción de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en jaulas flotantes, así como también los realizados en América del Sur y Asia, ratifican su viabilidad biológica y productiva, constituyéndola como una biotecnología innovadora que viene a ocupar un nuevo espacio, no propiamente a competir con el sistema tradicional, por lo que con la elaboración de un protocolo de manejo, medidas sanitarias y bioseguridad se retomarán, organizarán, corroborarán y modificarán estos resultados para hacerlos lo más accesibles y de fácil aplicación por grupos pesqueros.

Los organismos de estos sistemas se cultivan en condiciones naturales, cuentan con un ciclo cerrado de producción, se considera la selección adecuada del sitio, con una buena

circulación de agua, suficiente para remover desechos sólidos y nutrientes, se utiliza también un adecuado sistema de alimentación y organismos certificados sanitariamente, y su cultivo se puede establecer con otras especies (microalgas o bivalvos) para mitigar su posible impacto ambiental.

Las estructuras de las jaulas flotantes usadas pueden ser de diferentes dimensiones desde 9 hasta 200 m², construidas con materiales como tubería de PVC o de HPDE, con redes o mallas que mantienen en cautiverio al camarón, y por las cuales el agua se intercambia continuamente entre el ambiente y las mismas (Figuras 1 y 2).

Las post-larvas de camarón blanco (*L. vannamei*) para la siembra se adquieren en un laboratorio certificado, las cuales son transportadas al sitio de cultivo, donde son aclimatadas y sembradas a diferentes densidades en jaulas de pre-cría hasta alcanzar la talla suficiente para ser transferidas a las jaulas de engorda donde permanecerán aproximadamente 3 meses hasta cosecha. Durante el tiempo que dura este proceso se complementará la alimentación del camarón con alimento comercial. Diariamente se toman parámetros

Figura 1. Modelo de jaula flotante de camarón de 9 m²



Figura 2. Modelo de jaula flotante de camarón de 200 m²

fisicoquímicos del cultivo (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) y se lleva a cabo un monitoreo semanal del estado de salud de los organismos. Las biometrías semanales nos indican el peso promedio de los camarones. La limpieza de las jaulas es determinada por el dato de concentración de oxígeno disuelto dentro y por la proliferación de algas en las paredes de la jaula.

Los resultados de los trabajos realizados desde el año 2004 a la fecha, denotan la viabilidad de cultivar *L. vannamei* en jaulas flotantes de diferentes dimensiones, así como el beneficio de la productividad natural y la posibilidad de la intensificación del cultivo.

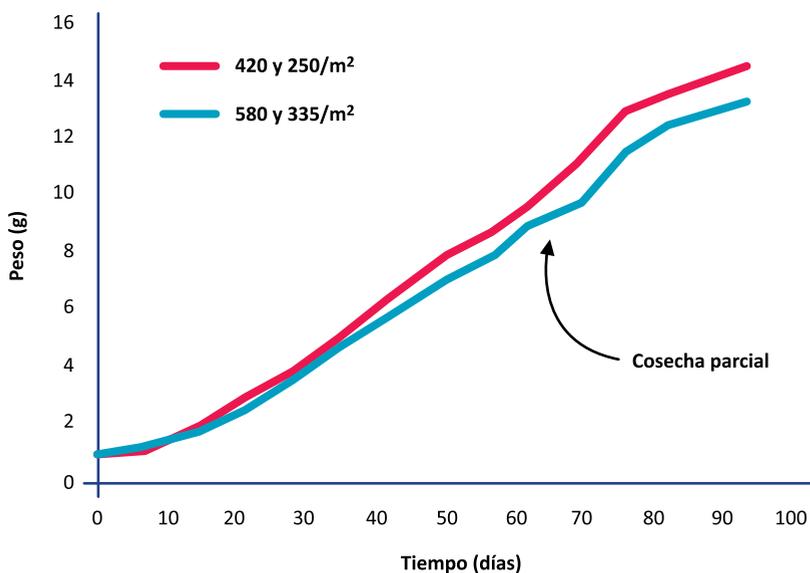
Los resultados que se tienen sobre rendimientos en toneladas por hectárea están en función de la biomasa obtenida de acuerdo con la densidad de siembra, van desde 10 hasta 50 veces más que los cultivos tradicionales, o sea de 10 a 50 toneladas por hectárea (Figura 3), y son comparables con los cultivos súper-intensivos establecidos en *raceways* que cuentan con una alta tecnología instalada, donde se obtienen en promedio de 40 a 50 toneladas/ha.

Por otra parte, el cultivo de camarón en jaulas tenderá a restaurar la sustentabilidad del recurso que está sobreexplotado, observando una cuidadosa integración con los sistemas de producción acuícola tradicionales. Al requerir una menor cantidad de alimento también se disminuye el riesgo de contaminación y de aparición de enfermedades.

Al proporcionar a las comunidades pesqueras las herramientas necesarias para fomentar su desarrollo a través de la divulgación de material especializado por medio de su capacitación sobre las tecnologías de cultivo de especies acuícola, como el camarón en jaulas flotantes, la acuicultura y maricultura podrán ser integradas al desarrollo de Sinaloa. De manera particular, los usuarios, integrantes de las cooperativas del estado de Sinaloa (140 cooperativas concesionadas con más de 15 mil pescadores ribereños), que adopten esta tecnología podrán gestionar recursos de apoyo ante los diferentes fondos crediticios estatales o federales creados para promover proyectos productivos.

En general, las empresas sociales, las dependencias del Poder Ejecutivo Federal y de los estados, relativas al sector acuícola y pesquero, así como las instituciones financieras privadas y los fondos estatales y sectoriales del país, son usuarios potenciales del proyecto de cultivo de camarón en granjas flotantes.

Figura 3. Curva de crecimiento de *L. vannamei* en diferentes densidades de siembra en jaulas de engorda



Por lo anterior, el éxito y la aceptación de esta nueva actividad tecnológica dirigida al sector pesquero generarán nuevas fuentes de empleo para este grupo social marginado. La maricultura representa una oportunidad que permitirá integrar a emprendedores rurales de Sinaloa y de México a la actividad productiva. Representa una alternativa de crecimiento económico individual, local y regional, para mejorar su calidad de vida, ya que las actividades extractivas no son suficientes para el sustento de las familias de las comunidades, por lo que el cultivo de camarón en jaulas flotantes figura como una alternativa sustentable para este grupo social.

► **Productos entregados**

Un manual para instalación, manejo y medidas sanitarias para la operación del sistema de cultivo en jaulas flotantes para camarón. Impartición de curso de capacitación. Una publicación en revista indexada.

► **Conclusiones y/o beneficios obtenidos**

La actividad acuícola nacional está en desarrollo y viene a complementar las tareas extractivas de diversas especies. Esta nueva tecnología de cultivo pretende ser una



alternativa de producción, al disminuir el impacto que actualmente tiene la acuicultura tradicional, con la posibilidad de generar fuentes de trabajo. A pesar de que el desarrollo de la acuicultura está limitado a un número pequeño de especies, de las cuales sólo de algunas se tiene establecido el ciclo cerrado –esto quiere decir que se cuenta con la producción de semillas en laboratorio y la tecnología de cultivo o engorda, y no se tiene que disponer de la captura de las semillas, post-larvas o pequeños juveniles para efectuar el ciclo de crecimiento–, también es factible realizar proyectos productivos integrando varias especies (camarón, tilapia y ostión) y así aprovechar la infraestructura disponible en el campo de un productor o grupo de productores (campamento, embarcación, personal de campo) con la que se cuenta para la realización de los cultivos a través de su capacitación, y de esta manera se promueve el aumento de su rentabilidad.

En México, el cultivo de especies marinas en jaulas es una nueva alternativa de producción que puede generar fuentes de trabajo tanto para la fabricación de los sistemas, como para la instalación y operación de los mismos, además podría disminuir la presión de que los grupos pesqueros tradicionales afectan al medio por la sobrepesca y podría coadyuvar a resolver el problema de desempleo que actualmente se presenta en este sector. Considerando una determinada distribución de sistemas lagunares o bahías en estado de Sinaloa, así como un número estimado de socios y pangas, se puede pensar en establecer



por cuerpo de agua, de acuerdo con su extensión y características idóneas y número de cooperativistas, una cifra tentativa de hectáreas para realizar cultivo en jaulas flotantes a reserva de hacer todos los estudios pertinentes de factibilidad y de impacto ambiental.

Un posible modelo a trabajar podría ser la instalación de módulos familiares pequeños, cuya administración y empleo utilizaría la mano de obra familiar en las aguas concesionadas a las cooperativas, y cuya organización permitirá una mayor competitividad en cuanto a la adquisición de insumos y comercialización. Y como un ejemplo de la relación beneficio-costos se establece como un escenario posible, la instalación de 60 jaulas de 9 m² donde se podría obtener en promedio una producción de 2 toneladas y media de camarón en un ciclo 4 meses. Durante el primer ciclo no habría ganancia pensando en un costo inicial de 300 mil pesos y la ganancia aproximada del segundo año sería de 200 mil pesos.

Bibliografía

Zarain-Herzberg, M., Campa-Córdova, A., Cavalli, R.O., 2006. "Biological viability of producing white shrimp *Litopenaeus vannamei* in seawater floating cages". *Aquaculture* 259, 283-289.

Zarain-Herzberg M., 2006. "Jaulas flotantes: una alternativa de cultivo". *Industria acuícola*, 2, 17-16. (disponible en <http://www.industriaacuicola.com/PDFs/2.2%20-CamaronJaulasFlotantes.pdf>).

Zarain-Herzberg, M. 2008. "Intensificación del cultivo de camarón en jaulas". *Industria acuícola*. Vol. 4 no. 6, p. 16-19.

Zarain-Herzberg, M. 2009. Development of new sustainable technique for shrimp culture in Mexico using sea floating cages. En: *Aquaculture Research Progress*. Nakamura T. K. (Ed). Nova Science Publisher, N.Y., USA pp. 269-289. ISBN 978-1-60456-247-7.

Zarain-Herzberg, M., Fraga, I., Hernández-Llamas, A. 2010. "Advances in intensifying the cultivation of the shrimp *Litopenaeus vannamei* in floating cages". *Aquaculture*, 300, 87-92.



ACTUALIZACIÓN DEL PROGRAMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL ESTADO DE SINALOA¹

Dr. Roldán López Horacio²

► Introducción

La localización geográfica del territorio del estado de Sinaloa en la región Pacífico-noroeste condiciona la plena integración de su Sistema Urbano Estatal a las mayores dinámicas funcionales del Sistema Urbano Nacional, así como a las dinámicas económicas que generan las grandes zonas metropolitanas industriales, localizadas tanto en las regiones urbanas central, norte, occidental, como en la zona fronteriza noroeste del país.

Esta circunstancia ha permitido que históricamente se potencien las características biofísicas del territorio sinaloense –situado entre dos regiones fisiográficas heterogéneas y contrastantes como son la sierra y la costa–, habilitando el manejo estratégico de los recursos naturales de tal manera que el crecimiento económico se sustenta en el aprovechamiento de las ventajas comparativas que origina la especialización primaria de la producción. Ello da lugar a la participación de un sector primario de alta productividad

¹ Proyecto FOMIX: SIN-2006-C01-41755

Monto aprobado y total: \$1,631,752.22

² Universidad Autónoma de Sinaloa



y rentabilidad, que está ligado tanto a la utilización de tecnología de punta para la realización de sus procesos productivos, como a las dinámicas que imponen los mercados nacionales y mundiales para la comercialización de sus productos.

El ordenamiento territorial registra un marcado desequilibrio económico, poblacional y espacial, que favorece al territorio en donde se realizan los principales procesos de producción primaria, el cual se localiza en una franja costera del macizo continental que se extiende de manera transversal desde la línea litoral hasta los 100 metros sobre el nivel del mar, toda vez que ahí se concentran los principales centros urbanos, las actividades productivas y el crecimiento demográfico. Esto deja en clara desventaja a los asentamientos humanos de la zona serrana baja y alta, que se ubican entre las cotas geográficas de altitud de 100 metros sobre el nivel del mar, a más de 3 mil metros sobre el nivel del mar.

El territorio de la franja costera abarca un área de 22 mil 367 km²—equivalente a 38.5% del territorio sinaloense—, y es el espacio que participa en el ámbito estatal con la mayor concentración demográfica, por aglomerar 93% de la población total—aglutina 98.4% de la población urbana y 81.2% de la población rural. Además, es en donde se centralizan las principales actividades productivas, por agrupar 73.6% de la población económicamente activa. Asimismo, es el lugar de localización del mayor número de centros de población, al concentrar 60.7% del total de las localidades, 94.2% de las localidades urbanas y 60.2% de las localidades rurales.

El Sistema Estatal de Ciudades constituye la estructura urbana que articula la franja costera y se integra por las ciudades de Culiacán, Mazatlán, Los Mochis, Guasave y Guamúchil, que se desempeñan como los centros urbanos líderes debido a que concentran equipamiento, bienes y servicios, lugares de gestión y administración, así como las principales actividades económicas terciarias y secundarias, lo que propicia que sus áreas urbanas concentren 47% de la población total del estado y 70% del total de la población urbana.

En siete décadas de urbanización las cinco ciudades líderes logran articular su funcionamiento urbano sobre la base de una dinámica que se despliega de manera lineal en torno a dos ejes carreteros que cruzan de manera longitudinal la franja costera: la carretera internacional número 15 y la carretera costera Benito Juárez, fenómeno que propicia la jerarquización económica, poblacional y espacial que favorece en mayor rango a la zona central del estado, en donde se localiza Culiacán Rosales, la ciudad capital.

Además, la presencia de una considerable red de infraestructura hidráulica, eléctrica y carretera en el territorio de la franja costera—construida gradualmente para garantizar la realización de los procesos de producción primaria—, así como la construcción de

la carretera costera Benito Juárez —a mediados de los años ochenta—, constituyen los factores principales para que se perfile un proceso de urbanización metropolitana, caracterizado por el eslabonamiento espacial de las áreas urbanas de las principales ciudades con las múltiples localidades urbanas y rurales que se ubican en cada uno de sus territorios de influencia económica. Eso origina la formación de 19 sistemas rururbanos.

Participación de la población en sistemas rururbanos					
Regiones	Población 2005 Habitantes			Participación en Población Estatal	
	Total	Perfil urbano	Perfil rural	Perfil urbano %	Perfil rural %
NORTE: 7 Sistemas Rururbanos	796,017	549,305	246,712	29.41	33.30
ÉVORA: 3 Sistemas Rururbanos	134,892	93,397	41,495	5.0	5.60
CENTRAL: 3 Sistemas Rururbanos	899,606	761,053	138,553	40.75	18.70
CENTRO SUR: 2 Sistemas Rururbanos	39,262	21,133	18,129	1.13	2.45
SUR: 4 Sistemas Rururbanos	494,046	442,774	51,272	23.71	6.92
Población 19 Sistemas Rururbanos	2,363,823	1,867,662	496,161	100%	66.97%
Participación en Población Estatal	90.62%	71.60%	19.02%		

Las dinámicas urbanas que conjugan los 19 sistemas rururbanos dan lugar a la formación de un funcionamiento territorial en la franja costera, que se caracteriza por la asociación espacial de las actividades económicas secundarias y terciarias propias del ámbito urbano (comercio, servicios, y agroindustria) con las actividades económicas primarias propias del ámbito rural y del litoral (explotación agrícola, camarонера, piscícola y ganadera), por lo que se identifica mediante un perfil socioeconómico y cultural mixto de tipo urbano-rural-litoral.

Los 19 sistemas rururbanos funcionan aproximadamente en 40% del territorio estatal y se estructuran espacialmente por las ciudades de Culiacán, Mazatlán, Los Mochis, Guasave y Guamúchil, que constituyen los centros urbanos proveedores e integradores de las 77 localidades urbanas y 3 mil 126 localidades rurales existentes. Todos ellos, en conjunto, constituyen una nueva estructura espacial de dimensión territorial y de tipo metropolitano, en donde se yuxtapone el desarrollo urbano con el desarrollo rural-

litoral, sobre la base de perfilar en el espacio un nuevo factor de producción mixto. Los 19 sistemas rururbanos concentran 91% de la población estatal –100% de la población urbana y 67% de la población rural–, por lo que se erige en el espacio que participa con el mayor nivel de urbanización en el territorio estatal.

El funcionamiento metropolitano de los 19 sistemas rururbanos genera nuevas dinámicas espaciales y mutaciones territoriales en las cinco ciudades líderes, ya que ahora el funcionamiento de sus áreas urbanas está en relación directa no sólo con la dimensión que presentan los procesos internos de organización espacial, sino también con la dimensión que asumen los procesos de articulación espacial en sus territorios de influencia económica.

Participación de la Población Fuera de Sistemas Rururbanos					
Regiones/ Población Fuera de los Sistemas Rururbanos	Población 2005 Habitantes			Participación en Población Estatal	
	Total	Perfil urbano	Perfil rural	Perfil urbano %	Perfil rural %
NORTE	71,952	0.0	71,952	0.0	9.715
ÉVORA	28,307	0.0	28,307	0.0	3.82
CENTRAL	79,913	0.0	79,913	0.0	10.79
CENTRO SUR	30,555	0.0	30,555	0.0	4.12
SUR	33,892	0.0	33,892	0.0	4.57
Población Fuera de los Sistemas Rururbanos	244,619	0	244,619	0	33.03%
Participación en Población Estatal	9.38%				

Participación de los Asentamientos en Sistemas Rururbanos					
Regiones	Asentamientos 2005			Participación Estatal	
	Total	Perfil urbano	Perfil rural	Perfil urbano %	Perfil rural %
NORTE: 7 Sistemas Rururbanos	1,245	44	1,201	53.66	20.96
ÉVORA: 3 Sistemas Rururbanos	261	7	254	8.54	4.43
CENTRAL: 3 Sistemas Rururbanos	1,141	17	1,124	20.73	19.62
CENTRO SUR: 2 Sistemas Rururbanos	129	3	126	3.66	2.20
SUR: 4 Sistemas Rururbanos	432	11	421	13.41	7.35
Asentamientos 19 Sistemas Rururbanos	3,208	82	3,126	100%	54.56%
Participación en Asentamientos Estatales	55.20%				

Participación de los Asentamientos Fuera de Sistemas Rururbanos					
Regiones/ Población Fuera de los Sistemas Rururbanos	Población 2005 Habitantes			Participación en Población Estatal	
	Total	Perfil urbano	Perfil rural	Perfil urbano %	Perfil rural %
NORTE	899	0.0	899	0.0	15.69
ÉVORA	245	0.0	245	0.0	4.28
CENTRAL	774	0.0	774	0.0	13.51
CENTRO SUR	219	0.0	219	0.0	3.82
SUR	467	0.0	467	0.0	8.15
Población Fuera de los Sistemas Rururbanos	2,604	0	2,604	0	45.45%
Participación en Población Estatal	44.80%				

En este contexto estatal de transición urbana, resulta apropiado promover políticas institucionales que tiendan a consolidar los procesos urbanos de tipo metropolitano. Por ello, el modelo urbano con visión a 2030 sintetiza y potencia las mayores fortalezas funcionales del territorio rururbanizado, de tal manera que éste se constituya en un espacio estratégico para impulsar un nuevo tipo de urbanización en los valles y la franja costera. Se espera que garantice la formación de un nuevo espacio de dimensión territorial organizado para la producción y la competitividad, que genere sistemas espaciales mixtos de múltiples centralidades urbanas, que integre de manera plena las dinámicas del desarrollo urbano con el desarrollo rural-litoral, y que se sustente en la vocación ambiental del desarrollo económico para lograr capitalizar el valor agregado de los recursos naturales y culturales.

Visión estratégica del ordenamiento territorial 2030

El diseño del modelo urbano con visión a 2030 transita por concretar fases urbanas funcionales y espaciales, las cuales se pueden perfilar de manera gradual sobre la base de los siguientes escenarios metropolitanos:

Regiones estatales

En el año 2030, el territorio del estado de Sinaloa estará habitado por 3 millones 285 mil 441 habitantes. La población se distribuye en 5 regiones urbanas siendo la región Central la que tiene la mayor participación poblacional con 34.12%; le sigue la región Norte con 30.24%, región Sur con 27.52%, región Évora con 5.69% y la región Centro Sur con 5.69%. La población con perfil urbano suma 2 millones 437 mil 598 habitantes y representa

74.2% de la población total, mientras que la población con perfil rural suma 847 mil 845 habitantes y participa con 25.8%.

Rangos de funcionamiento territorial

El ordenamiento urbano del territorio se estructura en 6 rangos funcionales que definen la jerarquía en el territorio de tres zonas metropolitanas, cinco sistemas rururbanos y las localidades cercanas a carreteras y aisladas. El rango número 1 corresponde a la Zona Metropolitana Culiacán-Navolato; el rango número 2 corresponde a la Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva, así como a la Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico; el rango número 3 corresponde a los tres sistemas rururbanos de la región del Évora; el rango número 4 corresponde a los dos sistemas rururbanos de la región Centro Sur; el rango número 5 corresponde a las localidades que funcionan cerca de carreteras, y el rango número 6 a las localidades que funcionan de manera aislada.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

La propuesta de ordenamiento territorial responde concretamente a la demanda específica del sector porque justifica: i) la planeación adecuada del uso de la tierra; ii) la distribución espacial equilibrada de los proyectos de inversión; iii) la eficiente organización funcional del territorio; iv) la promoción de actividades productivas; v) el diseño de mecanismos para proporcionar servicios, tanto para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población como para asegurar la sustentabilidad ambiental.

► Objetivo general

Diseñar el ordenamiento territorial del estado de Sinaloa a partir de un modelo urbano-económico de visión estratégica y competitiva con plazo al año 2030, para que se constituya en el instrumento de planeación mediante el cual sociedad y gobierno conjunten sinergias con el fin de impulsar una vigorosa política de desarrollo regional, cuyas principales estrategias y líneas de acción potencien el capital territorial estructurado durante más de 70 años, mediante la consolidación de los procesos rururbanos de ocupación y aprovechamiento sustentable del territorio, y sobre la base de un funcionamiento territorial de múltiples centralidades urbanas.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

La propuesta de ordenamiento territorial se desarrolla en las siguientes fases metodológicas: Primera fase.- ¿En dónde estamos? Caracterizar y analizar de manera sistémica el territorio estatal. Segunda fase.- ¿Con qué contamos? Diagnosticar el funcionamiento sistémico del territorio estatal. Tercera fase.- ¿Qué vamos a priorizar? Integrar el

Sinaloa: Participación de las Regiones Estatales 2030

Unidades Territoriales	Total Población	Población Urbana	Población Rural	Total de Localidades	Localidades Urbanas	Localidades Rurales	Superficie Km ²
Región Norte	993,417	628,697	364,721	2,144	44	2,100	22,349.17
Participación %	30.24	25.79	43.02	36.88	53.01	36.65	38.47
Región Évora	186,786	106,896	79,890	506	7	499	5,050.62
Participación %	5.69	4.39	9.42	8.70	8.43	8.71	8.69
Región Central	1,121,090	871,049	250,041	1,915	17	1,898	15,573.77
Participación %	34.12	35.73	29.49	32.94	20.48	33.12	26.81
Región Centro Sur	79,907	24,187	55,720	348	3	345	6,169.12
Participación %	2.43	0.99	6.57	5.99	3.61	6.02	10.62
Región Sur	904,241	806,769	97,473	900	12	888	8,949.32
Participación %	27.52	33.10	11.50	15.48	14.46	15.50	15.41
Sinaloa	3,285,441	2,437,598	847,845	5,813	83	5,730	58,092

Ordenamiento Urbano del Territorio: Rangos de Funcionamiento Territorial

Rango 1	Rango 2	Rango 3	Rango 4	Rango 5	Rango 6
Región Central	Región Norte	Región Del Évora	Región Centro Sur	Localidades Cerca de Carreteras	Localidades Aisladas
	Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva				
Zona Metropolitana Culiacán-Navolato	Región Sur	Sistema Rururbano Angostura	Sistema Rururbano Elota-Cosalá		
	Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico	Sistema Rururbano Badiraguato	Sistema Rururbano San Ignacio-Estación Dimas		

diagnóstico para priorizar prospectivas de ocupación sustentable, competitiva y gobernable del territorio estatal. Cuarta fase.- ¿A dónde queremos llegar? Diseñar el modelo de ordenamiento territorial. Quinta fase.- ¿Qué camino vamos a seguir? Elaborar los programas estratégicos orientados a conseguir el modelo de ordenamiento territorial 2030.

► **Productos entregados**

- Archivo digital e impreso de documento y cartografía que contiene el diagnóstico y pronóstico de los sistemas ambiental, económico y urbano regional y social del estado de Sinaloa y que, mediante la aplicación de la Matriz DAFO, se configura un modelo de ordenamiento territorial con prospectiva al año 2030.
- Sistema de Información Geográfico de los asentamientos, población y ambiente del territorio estatal
- Archivo digital e impreso de documento que contenga las políticas, estrategias y líneas de acción que den respuesta a la problemática detectada.

► **Conclusiones y/o beneficios obtenidos**

Prospectiva del Ordenamiento del Territorio Estatal al año 2030

Zonas Metropolitanas y Sistemas Rururbanos

El mayor porcentaje de la población estatal reside en el territorio de las zonas metropolitanas y sistemas rururbanos, ya que concentra a 2 millones 912 mil 562 habitantes, que representa 86.65% de la población total del estado. De esta población, 81.51% presenta perfil urbano y 18.49% presenta perfil rural.

El 49.63% del total de asentamientos estatales se localiza en el territorio de las zonas metropolitanas y sistemas rururbanos, ya que suman 2 mil 917 asentamientos humanos, de los cuales sólo 73 tienen una población mayor a 2 mil 500 habitantes; el resto suma 2 mil 844 asentamientos rurales que tienen una población menor a los 2 mil 500 habitantes. El 13.35% de la población estatal no reside en el territorio de las zonas metropolitanas y sistemas rururbanos.

Territorios metropolitanos

El territorio metropolitano es el que corresponde a la Zona Metropolitana Culiacán-Navolato, la Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva y la Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico. El territorio metropolitano se forma con la participación de diez municipios y representa 26.03% del territorio estatal; tiene una población total de 2 millones 713 mil 238 habitantes que representa 82.58% de la población estatal. En este territorio se localizan 2 mil 527 asentamientos humanos y representan 43.47% del total existente en el estado.

Población Residente en las Zonas Metropolitanas y Sistemas Rururbanos 2030

Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales
Zona Metropolitana Culiacán-Navolato	1,021,820	855,599	166,221	1089	14	1075
Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva	822477	580693	241784	989	37	952
Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico	868,941	806769	62172	449	12	437
Región Évora: 3 Sistemas Rururbanos	154388	106896	47492	261	7	254
Región Centro Sur: 3 Sistemas Rururbanos	44936	24187	20749	129	3	126
Total	2,912,562	2,374,144	538,418	2917	73	2,844

Población No Residente en las Zonas Metropolitanas y Sistemas Rururbanos 2030

Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales
Región Central: Fuera de la Zona Metropolitana Culiacán-Navolato	99,270	15,450	83,820	826	3	823
Región Norte: Fuera de la Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva	170,940	48004	122,937	1,155	7	1,148
Región Sur: Fuera de la Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico	35,300	0	35,300	451	0	451
Región del Évora: Fuera de los Sistemas Rururbanos	32,398	0	32,397	245	0.0	245
Región Centro Sur: Fuera de los Sistemas Rururbanos	34,971	0	34,971	219	0	219
Total	372,879	63,454	309,425	2,896	10	2,886

Sinaloa: Participación del Territorio Metropolitano 2030

Entidades	Regiones Estatales	Municipios	Superficie Territorial	Población 2005	Asentamientos 2005
			Km ²	Habitantes	Asentamientos
Sinaloa 2030	5	18	58,092	3,285,441	5,813
Territorio Metropolitano 2030	3	10	15,122.8	2,713,238	2,527
	60%	55.55%	26.03%	82.58%	43.47%

La Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva es la de mayor dimensión, ya que abarca un territorio de 6 mil 751.69 kilómetros cuadrados; le sigue la Zona Metropolitana Culiacán-Navolato con una superficie de 4 mil 702.54 kilómetros cuadrados; la de menor territorio es la Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico con una superficie de 3 mil 668.57 kilómetros cuadrados.

La Zona Metropolitana Culiacán-Navolato es la que concentra la mayor población de los territorios metropolitanos al agrupar a 1 millón 21 mil 820 habitantes. Le sigue la Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico con 868 mil 941 habitantes, y después la Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva con 822 mil 477 habitantes.

Territorio Metropolitano 2030

Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales	Superficie Km ²
Zona Metropolitana Culiacán-Navolato	1,021,820	855,599	166,221	1,089	14	1,075	4,702.54
Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva	822,477	580,693	241,784	989	37	952	6,751.69
Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico	868,941	806,769	62,172	449	12	437	3,668.57
Territorio Metropolitano	2,713,238	2,243,061	470,177	2,527	63	2,464	15,123

El mayor número de asentamientos urbanos se localiza en Zona Metropolitana Culiacán-Navolato al sumar mil 89 localidades; le sigue la Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva con 989 asentamientos humanos, y después la Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico que concentra sólo 449 localidades.

Región Central (RC): Zona Metropolitana Culiacán-Navolato (ZMCN)

La Zona Metropolitana Culiacán-Navolato (ZMCN) se localiza en la Región Central (RC) del territorio estatal y abarca una superficie que corresponde sólo a 30.20% del territorio de la RC. La ZMCN concentra a 91.15% de la población total de la RC; asimismo, concentra 98.23% del total de la población urbana de la RC. Respecto al número de localidades que se ubica en la ZMCN, ésta concentra 56.87% del total de las localidades existentes en la RC.

Región Central: Participación de las Unidades Territoriales 2030							
Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales	Superficie Km ²
Región Central	1,121,090	871,049	250,041	1,915	17	1898	15,573.77
Zona Metropolitana Culiacán-Navolato	1,021,820	855,599	166,221	1,089	14	1,075	4,702.54
Participación %	91.15	98.23	66.48	56.87	82.35	56.64	30.20
Fuera de la Zona Metropolitana	99,270	15,450	83,820	826	3	823	10871.23
Participación %	8.85	1.77	33.52	43.13	17.65	43.36	69.80

La población de la Región Central que se localiza fuera de la ZMCN representa sólo 8.85% del total de la población regional. La población de perfil rural de la región central, en menor porcentaje se ubica fuera de la ZMCN, ya que ésta representa sólo 33.52% del total de población rural de la Región Central.

Los municipios que participan en la formación del territorio de la Zona Metropolitana Culiacán-Navolato (ZMCN), son Culiacán y Navolato: el primero participa con 3 mil 126.72 kilómetros cuadrados, y el segundo aporta mil 575.82 kilómetros cuadrados de su territorio municipal.

La Zona Metropolitana Culiacán-Navolato (ZMCN) se integra con la participación mayoritaria del municipio de Culiacán, ya que éste aporta 85.31% del total de la población de la ZMCN. Asimismo, aporta 68.69% del total de asentamientos humanos que integran a la ZMCN.

Región Sur (RS): Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico (ZMMCC)

La Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico (ZMMCC) se localiza en la Región Sur (RS) del territorio estatal y abarca una superficie que corresponde a 41% del territorio de la Región Sur. La ZMMCC concentra 96.10% de la población total

ZM Culiacán-Navolato 2030							
Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales	Superficie Km²
Municipio de Culiacán	871,689	779,963	91,726	748	9	739	3126.72
Participación %	85.31	91.16	55.18	68.69	64.29	68.74	66.49
Municipio de Navolato	150,131	75,636	74,495	341	5	336	1575.82
Participación %	14.69	8.84	44.82	31.31	35.71	31.26	33.51
Zona Metropolitana Culiacán-Navolato	1,021,820	855,599	166,221	1089	14	1075	4702.54

de la RS; asimismo, concentra 100% del total de la población urbana de la Región Sur. Respecto del número de localidades que se ubican en la ZMMCC, ésta concentra 50% del total de las localidades existentes en la Región Sur.

La población de la Región Sur que se localiza fuera de la ZMMCC representa sólo 3.90% del total de la población regional. La población de perfil rural de la región Sur, en menor porcentaje se ubica fuera de la ZMMCC, ya que ésta representa sólo 36.22% del total de población rural de la Región Sur.

Región Sur: Participación de las Unidades Territoriales 2030							
Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales	Superficie Km²
Región Sur	904,241	806,769	97,473	900	12	888	8,949.32
Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico	868,941	806769	62172	449	12	437	3668.57
Participación %	96.10	100.00	63.78	49.89	100.00	49.21	40.99
Fuera de la Zona Metropolitana	35,300	0	35,300	451	0	451	5,280.75
Participación %	3.90	0.00	36.22	50.11	0.00	50.79	59.01

Los municipios que participan en la formación del territorio de la Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico (ZMMCC) son Mazatlán, Concordia, Escuinapa y Rosario. Escuinapa es el municipio que mayor superficie aporta al participar con mil 332.45 kilómetros cuadrados (36.32%), le sigue Rosario con mil 95.57 kilómetros

cuadrados de su territorio municipal (29.86%), Mazatlán participa con 668.13 kilómetros cuadrados (18.21%) y en menor proporción participa el municipio de Concordia con 572.42 kilómetros cuadrados (15.60%).

La Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico (ZMMCC) se integra con la participación mayoritaria del municipio de Mazatlán, ya que éste aporta 51.18% del total de la población de la ZMMCC; asimismo aporta 36.75% del total de asentamientos humanos que integran a la ZMMCC. Destaca la aportación poblacional del municipio de Escuinapa que, con el Centro Integralmente Planeado (CIP) Costa del Pacífico, participa con 41.04 del total de la población de la Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico.

Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico 2030							
Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales	Superficie Km²
Municipio de Concordia	18,951	9,504	9,447	68	1	67	572.42
Participación %	2.18	1.18	15.19	15.14	8.33	15.33	15.60
Municipio de Escuinapa	356,635	345,881	10,754	89	5	84	1,332.45
Participación %	41.04	42.87	17.30	19.82	41.67	19.22	36.32
Municipio de Mazatlán	444,764	427,549	17,215	165	4	161	668.13
Participación %	51.18	53.00	27.69	36.75	33.33	36.84	18.21
Municipio de Rosario	48,591	23,835	24,756	127	2	125	1,095.57
Participación %	5.59	2.95	39.82	28.29	16.67	28.60	29.86
Zona Metropolitana Mazatlán-Concordia-CIP Costa del Pacífico	868,941	806,769	62,172	449	12	437	3,668.57

Región Norte: Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva (ZMMGSL)

La Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva (ZMMGSL) se localiza en la Región Norte (RN) del territorio estatal, y abarca una superficie que corresponde a 30.21% del territorio de la Región Norte. La ZMMGSL concentra 82.79% de la población total de la Región Norte; asimismo, concentra 92.36% del total de la población urbana de la Región Norte. Respecto al número de localidades que se ubican en la ZMMGSL, ésta concentra 46.13% del total de las localidades existentes en la Región Norte.

La población de la Región Norte que se localiza fuera de la ZMMGSL representa sólo 17.21% del total de la población regional. La población de perfil rural de la Región Norte, en menor porcentaje se ubica fuera de la ZMMGSL, ya que ésta representa sólo 33.71% del total de población rural de la Región Norte.

Región Norte: Participación de las Unidades Territoriales 2030							
Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales	Superficie Km²
Región Norte	993417	628697	364721	2144	44	2100	22349.17
Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva	822,477	580,693	241,784	989	37	952	6,751.69
Participación %	82.79	92.36	66.29	46.13	84.09	45.33	30.21
Fuera de la Zona Metropolitana	170,940	48,004	122,937	1,155	7	1148	15,597.48
Participación %	17.21	7.64	33.71	53.87	15.91	54.67	69.79

Los municipios que participan en la formación del territorio de la Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva (ZMMGSL) son Ahome, Guasave, El Fuerte y Sinaloa de Leyva. Guasave es el municipio que mayor superficie aporta al participar con 2 mil 709.47 kilómetros cuadrados (40.13%), le sigue Ahome con 2 mil 420.4 kilómetros cuadrados de su territorio municipal (35.85%), Sinaloa de Leyva participa con 973.66 kilómetros cuadrados (14.42%), y en menor proporción participa el municipio de El Fuerte con 648.16 kilómetros cuadrados (9.60%).

La Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva (ZMMGSL) se integra con la participación mayoritaria de los municipios de Ahome y Guasave; el primero aporta 50.47% del total de la población de la ZMMGSL, y el segundo aporta 51.47% del total de asentamientos humanos que integran a la ZMMGSL. Destaca la aportación poblacional del municipio de Guasave que participa con 38.20% del total de la población de la Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva.

Sistemas Rururbanos

Región del Évora

El territorio de la región del Évora agrupa a una población de 186 mil 786 habitantes, y se localizan ahí 506 asentamientos humanos. El territorio se articula mediante el funcionamiento de tres sistemas rururbanos: Guamúchil, Angostura y Pericos Badiraguato. Los sistemas rururbanos agrupan 82.66% del total de la población regional;

ZM Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva 2030							
Unidades Territoriales	Total población	Población urbana	Población rural	Total de localidades	Localidades urbanas	Localidades rurales	Superficie Km²
Municipio de Ahome	415,095	346,601	68,494.5	270	14	256	2,420.4
Participación %	50.47	59.69	28.33	27.30	37.84	26.89	35.85
Municipio de El Fuerte	43,794	17,361.4	26,432.9	113	3	110	648.16
Participación %	5.32	2.99	10.93	11.43	8.11	11.55	9.60
Municipio de Guasave	314,220	201,708	112,512	509	17	492	2,709.47
Participación %	38.20	34.74	46.53	51.47	45.95	51.68	40.13
Municipio de Sinaloa	49,368	15,023.1	34,345.1	97	3	94	973.66
Participación %	6.00	2.59	14.20	9.81	8.11	9.87	14.42
Zona Metropolitana Los Mochis-Guasave-Sinaloa de Leyva	822,477	580,693	241,784	989	37	952	6,751.69

asimismo, concentran 51.58% del total de asentamientos ubicados en la región. La totalidad de las localidades urbanas y la población urbana se localiza en el territorio de los tres sistemas rururbanos de la región del Évora.

Participación de la Población y los Asentamientos en la Región del Évora 2030							
Región del Évora	Población 2030 Habitantes			Asentamientos 2030			Superficie Km²
	Total	Perfil urbano	Perfil rural	Total	Perfil urbano	Perfil rural	
3 Sistemas Rururbanos	154,388	106,896	47,492	261	7	254	5,050.62
Participación %	82.66	100.00	59.45	51.58	100.00	50.90	
Población Fuera de los Sistemas Rururbanos	32,398	0	32,398	245	0.0	245	
Participación %	17.34	0.00	40.55	48.42	0.00	49.10	
Total	186,786	106,896	79,890	506	7	499	

Nota: Para definir la participación por perfil en Población Estatal, se parte de considerar que en el año 2005 se registra para el Estado de Sinaloa una población con perfil urbano de 1'867,662 habitantes y una población con perfil rural de 740,780 habitantes.

La población que se ubica fuera del territorio de los sistemas rururbanos representa 17.34% de la población total de la región del Évora. Los asentamientos humanos que se ubican fuera del territorio de los sistemas rururbanos representan 48.42%.

Región Centro Sur

El territorio de la región Centro Sur de Sinaloa agrupa a una población de 79 mil 907 habitantes, y se localizan ahí 348 asentamientos humanos. El territorio se articula mediante el funcionamiento de dos sistemas rururbanos: la Cruz-Cosalá y San Ignacio-Estación Dimas. Los sistemas rururbanos agrupan 56.24% del total de la población regional; asimismo, concentran 37.07% del total de asentamientos ubicados en la región. La totalidad de las localidades urbanas y la población urbana se localiza en el territorio de los dos sistemas rururbanos de la región Centro Sur.

La población que se ubica fuera del territorio de los sistemas rururbanos de la región Centro Sur representa 43.76% de la población total de la región. Los asentamientos humanos que se ubican fuera del territorio de los sistemas rururbanos representan 62.93%.

Participación de la Población y los Asentamientos en la Región Centro Sur 2030

Región del Évora	Población 2030 Habitantes			Asentamientos 2030			Superficie Km ²
	Total	Perfil urbano	Perfil rural	Total	Perfil urbano	Perfil rural	
2 Sistemas Rururbanos	44,936	24,187	20,749	129	3	126	6,169.12
Participación %	56.24	100.00	37.24	37.07	100.00	36.52	
Población Fuera de los Sistemas Rururbanos	34,971	0	34,971	219	0	219	
Participación %	43.76	0.00	62.76	62.93	0.00	63.48	
Total	79,907	24,187	55,720	348	3	345	

Nota: Para definir la participación por perfil en Población Estatal, se parte de considerar que en el año 2005 se registra para el Estado de Sinaloa una población con perfil urbano de 1'867,662 habitantes y una población con perfil rural de 740,780 habitantes.



MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS BÁSICAS, OPCIÓN CAMPO FORMATIVO DE MATEMÁTICAS (PRIMERA FASE)¹

Cuauhtémoc Reyes Moreno² y Jesús Enrique Ruiz Cortez

► Introducción

Aspirar a tener un sistema de educación superior exitoso, que sea base importante para la conformación, desarrollo y consolidación de los sistemas estatales y Nacional de Ciencia y Tecnología en nuestro país, pasa por la necesidad de que los mexicanos contemos con una educación básica de calidad, tal como se plantea en el Programa Sectorial 2007-2012, y como la mayoría de los países desarrollados lo han implementado, para ello se requiere de la formación de recursos humanos de alto nivel académico que atiendan procesos de formación y actualización docente de nuestros profesores desde la educación preescolar.

Los resultados de las evaluaciones del examen EXCALE-06, ENLACE 2007, 2008, 2009 y 2010 y el Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes (PISA, por sus siglas en inglés) 2000, 2003 y 2006 ponen de manifiesto el bajo nivel de aprovechamiento académico en la enseñanza de las matemáticas, las ciencias y el español en los niveles básico y medio superior en México. Este hecho por sí solo debe obligarnos, con carácter

¹ Proyecto FOMIX: SIN-2006-C02-51366

Monto aprobado y total: \$3,242,800.00

² De la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en Culiacán, Sin.



de urgente y sin menoscabo de los esfuerzos realizados hasta hoy, a llevar a cabo un proceso de formación y actualización docente en la enseñanza de dichas asignaturas, que nos permita elevar la calidad de la enseñanza, trascendiendo todas las prácticas rutinarias, enfoques pedagógicos y herramientas que en los espacios escolares nuestros profesores han puesto en práctica durante muchos años en su actividad docente.

Con el propósito de atender dicha problemática en el área de las matemáticas en el estado de Sinaloa, el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (CECyT), en su carácter de miembro activo de la Red Nacional de Consejos Estatales de Ciencia y Tecnología (REDNACECyT), y la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas (FCQB) de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) implementaron una Maestría en Docencia de las Ciencias, Opción Campo Formativo de Matemáticas como una propuesta académica para formar una Red Estatal de Profesores para la Enseñanza de las Matemáticas, de alto nivel académico, con el propósito de implementar un Programa Permanente de Actualización Docente en la Enseñanza de las Matemáticas para los profesores de educación básica (preescolar, primaria y secundaria) en aquellos ejes, subejos, temas o aspectos que evidentemente en todas y cada una de las evaluaciones locales, nacionales e internacionales, se han obtenido resultados deficientes o muy deficientes.

Esta maestría es producto del trabajo colectivo de un grupo de destacados académicos que laboran en diversas instituciones del estado de Sinaloa (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Centro de Ciencias de Sinaloa, Centro de Actualización de Maestros de la Secretaría de Educación Pública y Cultura del Estado de Sinaloa y fundamentalmente, de la UAS), quienes son reconocidos en este campo de conocimiento, los cuales han respondido con un alto nivel de compromiso a esta iniciativa del CECyT, que aprobó, implementó e hizo suya la UAS. El proceso de trabajo inició a mediados de 2006 –la maestría se inició en enero de 2007– y ha sido muy intenso, con reuniones constantes para discutir nuestros puntos de vista contrastados con revisiones minuciosas de diversos documentos que dan cuenta de la problemática educativa en el campo concerniente a las matemáticas. Ámbito que, en el desarrollo histórico de la educación en México, se reconoce públicamente como uno de los rezagos educativos más fuertes que padece nuestro sistema educativo nacional, y de ello dan cuenta las diversas evaluaciones nacionales e internacionales, así como “una de las variables que mejor predice el desempeño escolar, como son los exámenes de admisión” (Keller y Coll, 1994), en donde graves carencias formativas de los estudiantes quedan en evidencia cuando presentan exámenes de evaluación o para ingresar a una carrera universitaria y sus porcentajes de aprovechamiento escolar son tan bajos, que reflejan claramente no estar aptos en su gran mayoría para el nivel educativo al que desean ingresar.

El grupo de trabajo hizo objeto de su análisis a diversas realidades y tendencias que, en el caso de las matemáticas, se localizan en los diferentes niveles que componen la

educación básica. También, analizó los compromisos que de acuerdo con la propuesta para la redefinición hacia 2015 de los Objetivos del Milenio, señalados por la UNESCO, en donde México se planteó como meta lograr que la mayoría significativa de estudiantes alcancen niveles de aprendizaje satisfactorios, reduciendo a la mitad el número de alumnos insuficientes, de igual manera, se analizaron indicadores y metas que establece el Programa Sectorial de Educación de la Secretaría de Educación Pública en relación con el examen PISA donde se han propuesto como meta para 2012 pasar de los 392 puntos (de acuerdo con los resultados 2003) a 435.

Se partió, también, de reconocer que esta problemática es muy compleja y que no se resolverá con una sola medida al respecto, sino que es necesario realizar un conjunto de acciones en todo el país involucrando y sumando esfuerzos con las instituciones de educación superior, organismos, gobiernos, dependencias, padres de familia y ciudadanía en general, pero, sobre todo, con los profesores de todas y cada una de las escuelas, ya que ellos son la “variable constante” que suele determinar los alcances de la formación y vocación científica de los estudiantes. Por ello, se parte de la premisa de que una educación de calidad en el terreno de las ciencias, y en este caso de las matemáticas, podrá ser posible en gran medida en función de un perfil docente con un concepto pedagógico constructivista de enseñanza y aprendizaje, con un alto dominio de los fundamentos y enfoques psicopedagógicos, abastecido de las más modernas estrategias, métodos y técnicas didácticas apropiadas al desarrollo psicobiológico y sociocognitivo del estudiante, y aplicadas críticamente de acuerdo con el nivel educativo y su contexto escolar. Con el propósito de contribuir a la construcción de este perfil docente que trascienda desde el nivel de primaria, incluso desde el preescolar, es que se propuso este programa de largo alcance con un enfoque profesionalizante que habilite a sus egresados para incidir directamente sobre su práctica. “Se concibe la práctica docente como la acción que se desarrolla en el aula con especial referencia al proceso de enseñar...” (DeLella, 1999).

La razón fundamental para enfocar la atención en el nivel básico de la educación es porque, además de ser el punto de partida de toda la espiral educativa, sus niveles de aprovechamiento, su calidad, su desarticulación académica para integrar un perfil de egreso, poco o muy poco podrán aportar para lograr el nivel académico que se requiere para continuar en los niveles inmediatos superiores. En general, la educación básica y particularmente las matemáticas son únicas, se integran y articulan desde el nivel preescolar, pasando por la primaria y finalizando en la secundaria, teniendo un perfil de egreso único, aunque a cada uno de sus niveles les corresponde iniciar, continuar o concluir procesos formativos de las diferentes temáticas de las matemáticas, de las ciencias o de los demás campos formativos, para que a través de ellos se logren las competencias que nos permitan alcanzar el perfil de egreso del nivel de secundaria (educación media). En consecuencia, consolidar los procesos formativos en la educación básica y particularmente entre el nivel de preescolar y los primeros grados de primaria, o entre el nivel pri-

maria y el primer grado de secundaria, es fundamentalmente para la consolidación y la articulación de toda la educación básica, para así posibilitar la obtención de su perfil de egreso, ya que para ello es condición integrar a ese trayecto formativo único la necesaria consistencia entre lo que uno empieza bien para que el otro lo continúe también bien, con el propósito de que el último lo termine integrando todavía mejor.

La problemática de la enseñanza de las matemáticas es compleja y por ello se coincide con quienes consideran que se debe iniciar un proceso de formación de recursos humanos de alto nivel en la enseñanza de estos campos del conocimiento para toda la educación en general del país. Si los profesores no logran desarrollar las competencias básicas que se plantean en la reforma educativa, jamás van a poder cambiar sus prácticas, ni los enfoques, ni la parte conceptual que por tantos años han construido y aplicado en función de los referentes de los cuales fueron formados y, en consecuencia, los alumnos nunca van a desarrollar esas competencias, aunque los contenidos de aprendizaje estén planteados en estos términos. *Esto no es banal, al tiempo que repercuten en la sociedad, sobre todo si se comparte la idea de que más allá de PISA, EXCALE, ENLACE, etc., México debe desarrollar una capacidad académica necesaria en la enseñanza de las matemáticas para formar a las futuras generaciones de ingenieros, científicos y tecnólogos que nuestro país requiere para participar con mayor nivel de competencia que permita lograr un mejor desarrollo económico y social.*

El mundo actual demanda sistemas educativos de calidad, sin embargo, no han sido posibles; esto trae como consecuencia graves riesgos para el desarrollo de nuestro país si no se asume con responsabilidad ese reto. Rodger Baybee, Presidente del Comité de Ciencias del PISA, planteó en el marco del Seminario Internacional sobre la Integralidad de la Educación Básica que “México debe iniciar un proceso de mejora de los indicadores o resultados de PISA, ya que de no ser así, esta situación se puede volver un verdadero problema de seguridad nacional”.

En contrapartida, los sistemas educativos más exitosos del mundo tienen como uno de sus principales impulsores para su desarrollo y consolidación, la capacitación, entrenamiento y actualización de sus profesores a través de programas de formación docente rigurosos y continuos, indistintamente de su situación económica, política, social, etcétera. Lo que es una constante en estos sistemas educativos es que la educación de calidad contribuye de manera directa en su desarrollo científico y tecnológico; no es casual que son los países que tienen mayor número de investigadores por cada mil habitantes, o los que tienen mayor capacidad científica y tecnológica, o los que tienen los más altos indicadores en las evaluaciones internacionales y, obviamente, son aquellos que le proporcionan mayor desarrollo y bienestar social a sus habitantes.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Demanda 3.2 Formación de Profesores en la Enseñanza de las Ciencias Básicas (Primera fase: Matemáticas).

► Objetivo general

Contribuir a mejorar la calidad de la educación científica en el campo de las matemáticas dentro de los niveles de educación primaria, secundaria y bachillerato del estado de Sinaloa a través del fortalecimiento de la formación matemática y actualización pedagógica de los profesores que laboran en todos los subsistemas de educación básica, media y media superior de nuestra entidad, revalorando el papel de las ciencias y de las matemáticas en particular, como ejes formativos en la educación.

Contribuir al cumplimiento del Programa Sectorial de Educación 2007-2012 en lo concerniente a los objetivos relacionados con la calidad de la educación, así como en las políticas de articulación de la educación básica, y al cumplimiento del Programa Estatal de Desarrollo 2005-2010 con relación a las estrategias y líneas de acción contempladas en el objetivo rector de elevar la calidad de la enseñanza y los resultados de los aprendizajes de las matemáticas, las ciencias y el español.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

Este programa de posgrado –Maestría en Docencia de las Ciencias Básicas, Opción Campo Formativo de Matemáticas– ofrece a los profesores de matemáticas del nivel básico y medio un trayecto formativo que tiene como punto de referencia herramientas teórico-metodológicas y disciplinares que permiten centrar la atención en el tratamiento pedagógico de los contenidos programáticos del nivel académico correspondiente, pero también de los ejes, temas, subtemas y apartados que de manera recurrente se convierten en aquellos aspectos claves de los programas de estudios como las grandes dificultades para la comprensión o la enseñanza por parte de los profesores y que además se evidencian permanentemente como insuficientes en los procesos de evaluación. En el ámbito histórico del desarrollo de la educación en México se reconocen como la parte más importante de nuestro rezago educativo en el área de matemáticas. Estos aspectos académicos claves son aquellos en los que cada profesor debe tener una comprensión o conocimiento profundo; sin este conocimiento profundo de las matemáticas básicas, el nivel de aprovechamiento en esta área del conocimiento va a seguir siendo prácticamente bajo durante mucho tiempo, además del desarrollo de competencias para un manejo como usuario avanzado de las tecnologías de información y comunicación en la enseñanza de las matemáticas.

En este posgrado se trabajó de manera mixta: presencial y virtual. En la parte virtual se empleó una plataforma (*e-learning*) que se utilizó como un aula sin muros y coadyuvó de manera inherente al proceso de formación y actualización docente. Ahí se impartió un curso sobre Tecnologías de la Información y Comunicación en la Enseñanza de las Matemáticas, de donde egresaron los profesores como usuarios intermedios o avanzados (según fue su nivel al ingresar a la maestría) y se enfocó a las competencias que se establecen en los estándares de competencias en TIC para docentes de la UNESCO (Londres, enero de 2008).

El Plan de Estudios se ubicó como un posgrado profesionalizante en la perspectiva de la clasificación general que ofrece la SEP al respecto. Se estructuró por el conjunto de asignaturas o módulos que se distribuyen de manera horizontal en tres ejes curriculares, y de forma vertical en cortes temporales de cuatro cuatrimestres con un total de diez módulos, en los que se distribuyeron tres módulos o cursos por cuatrimestre, excepto el último, que sólo contemplo el módulo de Seminario de Titulación.

Cada módulo tuvo una duración de 90 horas, con 45 horas-aula dedicadas a las sesiones grupales de clases (excepto los dos finales del eje de investigación que fueron de 120 horas de duración), y las otras 45 horas se dedicaron para actividades académicas extraclase (elaboración de reportes de investigación, tareas, ejercicios, lecturas previas, participación en la plataforma de *e-learning*, investigación de bibliotecas e Internet, prácticas de campo y de laboratorio). Todos los módulos se cursaron en sesiones intensivas presenciales de trabajo grupal durante los días viernes (tarde-noche) y sábados (mañanas). El plan de estudios contó con un diseño flexible que se readaptó a las necesidades de formación de los participantes, cuya característica principal era ser docentes frente a grupo.

Los ejes curriculares básicos que conformaron el Plan de Estudios fueron: (1) Eje de fundamentos docentes, (2) Eje de actualización pedagógica y (3) Eje de investigación.

Eje de fundamentos docentes. Una de las cuestiones esenciales para cualquier persona dedicada a la docencia de las matemáticas resulta ser el conocimiento disciplinario como elemento fundamental, pues si la persona no domina el qué enseñar (lo que debe aprender el alumno), que es la parte sustancial constituida por el conjunto de conocimientos con sus propios principios de planeación, organización y evaluación, ninguna didáctica por más moderna e innovadora que sea, logrará ser eficaz.

Eje de actualización pedagógica. Al ser los aspirantes a la maestría personas dedicadas de manera profesional a la docencia de las matemáticas, resulta imperativo una constante actualización de sus teorías, métodos y técnicas de enseñanza, de manera que puedan

contribuir significativamente a mejorar la calidad educativa de los niveles educativos donde prestan sus servicios, aplicando los más avanzados enfoques pedagógicos y sistemas de enseñanza establecidos en los fundamentos de sus procesos de reforma, en beneficio del proceso formativo de sus alumnos. Y que cuando sea necesario, y así se lo propongan, les permita insertarse de manera más activa y propositiva en los procesos de cambio y reforma impulsados por las autoridades, o los diferentes agentes sociales o el mercado de trabajo.

Eje de investigación. A diferencia de épocas anteriores, la ciencia y la tecnología avanzan a ritmos cada vez más acelerados, donde la obsolescencia es el signo distintivo que acompaña al fenómeno de cambio permanente. El campo de la educación no resulta la excepción a este fenómeno. Lo que hace tiempo se consideraba una “buena educación” o una “educación de calidad”, hoy ya no se reconoce como tal. Por ello, es vital que los maestros egresados del programa Maestría en Docencia de las Ciencias Básicas, Opción Campo Formativo de Matemáticas se apropien de una visión crítica de la realidad educativa, de sus propias prácticas y concepciones pedagógicas, para que se propongan aportar nuevos conocimientos y propuestas que ayuden a resolver la gran diversidad de problemas que padecen actualmente en nuestra región y el país en los niveles de educación básica, media y media superior, en este caso, relacionados con la enseñanza de las matemáticas. Ello, a través de la elaboración de propuestas de intervención pedagógica que se pueden convertir en programas para la mejora de la calidad de la educación en los niveles correspondientes.

Se elaboraron líneas de investigación y desarrollo de proyectos en el campo formativo de matemáticas que correspondieron a las opciones de acentuación de los procesos formativos de los participantes en concordancia con los intereses de conocimiento del aspirante a la maestría, así como con los objetivos curriculares y el perfil de egreso del programa. Para ello, se contó con el respaldo de una calificada planta académica local y de expertos invitados que participaron como tutores, conferencistas y seminaristas del programa y que, a su vez, fueron responsables de atender en forma personalizada y de guiar al estudiante durante todo el proceso de investigación hasta la la presentación de su examen de grado y la obtención de su grado de maestría. Así, el alumno pudo situar el diseño y desarrollo de su proyecto de trabajo recepcional en cualquiera de las siguientes líneas: (1) Enfoques pedagógicos alternativos de la enseñanza de las matemáticas, (2) Innovaciones en la planeación y evaluación del aprendizaje matemático; (3) Formación docente, valores y teorías implícitas sobre matemáticas en la educación escolar; (4) Materiales concretos y recursos didácticos centrados en el aprendizaje; (5) Estrategias y aplicaciones tecnológicas para los procesos educativos, y (6) *Curriculum*, modelos educativos y desarrollo de la práctica docente.

Planta de profesores del Programa

1. Dr. Santiago Inzunza Cázares, UAS
2. Dr. Armando Flórez Arco, UAS
3. Dr. Martín Pastor Angulo, UAS
4. MC Diego Cárdenas Sainz, UAS
5. MC Pedro Ruiz Cortez, UAS
6. Dra. Diamandina Glaros Koyama, ITESM
7. Dr. Benigno Valdez Torres, ITESM
8. Dra. Cruz Evelia Sosa Carrillo, ITESM
9. MEE J. Beatriz Velasco Ceballos, ITESM
10. MC Cuitláhuac Valdez Lafarga, ITESM
11. Dr. Salvador Hernández Vaca, Centro de Ciencias de Sinaloa
12. MC Roberto Palomares González, Depto. de Secundarias Técnicas de la SEPyc
13. MC Edmar Mota García, Depto. de Tecnología Educativa de la SEPyc

Durante el desarrollo del programa de la maestría se implementaron conferencias magistrales y seminarios

Conferencias magistrales

1. Investigación de la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, Dr. Ricardo Cantoral Uriza, Director del Departamento de Matemática Educativa, CINVESTAV-IPN, U. Zacatenco. Entre el aprender y enseñar matemáticas, Dr. Eduardo Mancera Martínez, Vicepresidente del Comité Interamericano de Educación Matemática
2. Una comprensión profunda de las matemáticas fundamentales, Dr. Patrick Scout, Departamento de Educación Pública de Nuevo México, Estados Unidos de América
3. Acercamiento inquisitivo en la construcción del conocimiento matemático, Dr. Luz Manuel Santos Trigo, Investigador Nacional, Departamento de Matemática Educativa, CINVESTAV-IPN, U. Zacatenco
4. La reforma de las matemáticas modernas y el inicio de una nueva etapa en la educación matemática, Dr. Ángel Ruiz, Director del Centro de Investigaciones Matemáticas y Matemáticas, Universidad de Costa Rica, Presidente del Comité Interamericano de Educación Matemática y Vicepresidente de la Comisión Internacional para la Instrucción Matemática (ICMI)
5. La estadística de los nuevos programas de estudio en educación básica: Una visión crítica, Dr. Ernesto Alonso Sánchez Sánchez, Investigador, Departamento de Matemática Educativa, CINVESTAV-IPN, U. Zacatenco

Seminarios

1. Una comparación entre maestros de primaria de Estados Unidos y China, con comentarios sobre la situación en México, Dr. Patrick Scott
2. Filosofía y epistemología en la educación matemática, Dr. Ángel Ruiz
3. Competencias y conocimientos en la formación de maestros en la educación matemática, Dr. Ángel Ruiz
4. La variación estadística en situaciones de azar con ayuda del *software* Fathom, Dr. Ernesto Alonso Sánchez Sánchez
5. La enseñanza de la matemática con la ayuda del *software* Cabri, Dr. Luz Manuel Santos Trigo
6. Qué es eso de enseñar matemáticas a través de la resolución de problemas, Dr. Eduardo Mancera Martínez.

La coordinación del Programa, a cargo del Mtro. Jesús Enrique Ruiz Cortez, fue excelente, contando con el respaldo y reconocimiento del cuerpo académico, manteniendo una vida académica colegiada. Se realizaron para ello alrededor de 80 reuniones académicas, desde el diseño, implementación, seguimiento, análisis y discusión de las distintas situaciones que se presentaron durante el desarrollo de la maestría.

► Productos entregados

1. Formación de 32 recursos humanos a nivel maestría (32 maestros en Ciencias en Enseñanza de las Matemáticas).
2. 32 tesis de maestría (propuestas de intervención pedagógica), algunas de las cuales se han convertido en líneas de investigación o programas de actualización de mayor impacto, como es el caso de:
 - i. Vizcarra Parra, F. “Un estudio sobre la caracterización de razonamiento estadístico de estudiantes de preparatoria: el caso de los promedios y las gráficas”. Director de tesis: Dr. Santiago Inzuna Cázares. Tesis apoyada con recursos económicos de la UAS para que la investigación se realizara en preparatorias universitarias con el propósito de que, en función de sus resultados, se implementaran los cursos de actualización necesarios para mejorar la enseñanza de la estadística en este nivel educativo.
 - ii. Bonilla Ramos, LA. “La enseñanza del tema ‘Solución de Triángulos Rectángulos’ en un ambiente *e-learning* usando el LMS moodle y las clases presen-

ciales en la Unidad Académica Preparatoria Emiliano Zapata: Una propuesta pedagógica”. Director de tesis: Dr. Benigno Valdéz Torres. De igual manera y con el mismo propósito fue apoyada por la UAS.

- iii. Pérez Lerma, EA. “Propuesta didáctica para la enseñanza del álgebra a través de sistemas algebraicos computarizados”. Director de tesis: MC Diego Cárdenas Sainz. Esta propuesta didáctica se implementó en cuatro preparatorias del norte del estado de Sinaloa pertenecientes a la UAS, contando con la característica de que se utilizó en alumnos reprobados o rezagados en el tema.
 - iv. Guzmán Reyes, MC. “Comprensión que muestran profesores de secundaria acerca de los conceptos de probabilidad y sus dificultades para enfrentarse a los retos del nuevo programa de matemáticas”. Director de tesis: Dr. Santiago Inzunza Cázares. Esta tesis se convirtió en un programa de actualización docente para todos los profesores de secundarias técnicas en el estado de Sinaloa con financiamiento de la Secretaría de Educación Pública y Cultura del estado
 - v. Robles López, FJ. “Modelo de procedimientos didácticos para la enseñanza del cálculo”. Director de tesis: MC Diego Cárdenas Sáinz. Tesis considerada por el jurado de examen (Dr. Víctor Soberanis Cruz, coordinador de la Maestría en la Enseñanza de la Matemática de la Universidad de Quintana Roo, y el Dr. Eduardo Mancera Martínez, vicepresidente del Comité Interamericano de Educación Matemática) como posible modelo a seguir en las carreras de Ingeniería, sobre todo de Bioquímica y Química, para la enseñanza del Cálculo utilizando herramientas didácticas físicas y/o virtuales con la ayuda del *software* educativo, combinando situaciones de contexto.
 - vi. Manjarrez Figueroa, A. “Un estudio exploratorio sobre el potencial pedagógico del *software* Geojebra para el aprendizaje de las matemáticas a través de resoluciones de problemas en alumnos de secundaria”. Director de tesis: Dr. Santiago Inzunza Cázares. Tesis que se ha presentado en diferentes eventos académicos organizados por la SEPyc, con numerosas solicitudes para que se implementen cursos, talleres o diplomados sobre esta temática.
3. Conformación de una Red Estatal de Profesores para la Enseñanza de las Matemáticas. Red integrada por expertos en la formación y actualización docente en matemáticas del nivel básico, medio y medio superior, conformada por la planta de profesores de la maestría y diez egresados (con mención honorífica) de la misma. Red con la cual se ha implementado un Programa Estatal de Diplomados en Actualización Docente de las Matemáticas para profesores de preescolar, primaria y secundaria. Hasta la fecha,

se ha atendido a alrededor de 900 profesores de ese nivel. Para el nivel de preescolar, Aleyda Yudit Velázquez Hernández y Brenda Alicia Arámbura Meraz, académicas de este nivel (educadoras frente a grupo, supervisoras interinas, asesoras técnicas pedagógicas y actualmente directoras de plantel) de manera paralela obtuvieron el doctorado en Tecnologías de la Información y la Comunicación con Acentuación a Distancia, presentando como tesis “La formación de competencias docentes para el diseño de situaciones didácticas en educación preescolar mediante foros y *wikis* dentro de una plataforma virtual”. Ambas se han incorporado a la Red para responsabilizarse del nivel preescolar.

4. Reedición de la maestría (actualmente en el último cuatrimestre) dirigida, en esta ocasión, a profesores de matemáticas del nivel de secundaria.
5. La elaboración colectiva de una propuesta para la posible segunda reedición de la maestría dirigida a educadoras de preescolar y profesores de primaria debido a que, por motivos de articulación de estos dos niveles y las razones obvias de la reforma educativa 2009, es tan importante la formación de este recurso humano de alto nivel.

Conclusiones y/o beneficios obtenidos

Se reitera lo fundamental de la formación de recursos humanos de alto nivel como *formadores de formadores* para que se involucren en procesos de actualización de los profesores de educación básica, media y media superior para la mejora de la calidad de la enseñanza de las matemáticas en todos y cada uno de los estados de nuestro país, a través de programas permanentes y con rigor académico que sean verdaderas alternativas académicas para los profesores frente a grupo.





SONORA

ESTUDIO DE LA RECUPERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES Y NUTRICIAS DE PROTEÍNA DE DESECHOS DE CAMARÓN¹

Jaime López Cervantes², Dalia I. Sánchez-Machado², Olga N. Campas-Baypoli² y Carolina Bueno-Solano²

► Introducción

El camarón es un crustáceo decápodo de tamaño y color variable. Su cuerpo es algo encorvado y está dividido en dos partes: cefalotórax y abdomen, comercialmente conocidos como cabeza y cola, respectivamente. El cefalotórax está cubierto por un caparazón que contiene la cabeza, órganos vitales del animal, tres pares de patas prensoras y dos caminadoras. El abdomen está dividido en seis segmentos; el último de ellos termina en una punta fina llamada telson (Cañipa-Morales & Durán-de-Bazúa, 1997). Aunque el camarón es excepcionalmente nutritivo (Rui & Nuñez, 2003) solamente 55% del animal es comestible (Armenta-López, Guerrero & Huerta, 2002), y lo restante está constituido de gónadas y hepatopáncreas. Este residuo es descartado como basura después de la captura del camarón o del procesamiento comercial y se convierte en una fuente de contaminación ambiental, lo cual causa serios problemas ecológicos debido a su fácil descomposición (Mandeville, Yaylayan & Simpson, 1992).

¹ Proyecto FOMIX: SON-2004-C03-016

Monto aprobado: \$340,000.00

Aportaciones concurrentes: \$230,000.00

Monto total: \$570,000.00

² Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias del Instituto Tecnológico de Sonora



En la década de los 90 se inicia en el Noroeste de México una nueva alternativa de producción de camarón (acuicultura), la cual es bien aceptada por pescadores de la región que, preocupados por la cada vez más baja captura del crustáceo de bahía, buscan nuevas alternativas de trabajo. La industria camaronera en Sonora y Sinaloa, es muy productiva teniéndose incrementos anuales de 17% con una producción de 82,662 toneladas métricas (TM) en 2009 (SEMARNAP, 2009).

El incremento en las cantidades de desechos del procesamiento del camarón y otros crustáceos (cangrejos, langostas, calamares, krill) se ha convertido en una preocupación para las plantas procesadoras de productos marinos. Sin embargo, estos residuos o bioproductos pueden servir como un importante fuente para la producción de quitina, su derivado desacetilado quitosano, proteínas y pigmentos carotenoides (Shahidi, 1995).

Tradicionalmente estos residuos han sido conservados mediante secado solar, pero este método tiene poca calidad sanitaria por lo que su aplicación está limitada a alimentos para animales. Otros métodos alternativos son la preparación de ensilados ácidos o alcalinos, pero éstos afectan la calidad de la quitina y proteínas que son extraídas. También, se ha propuesto la preparación de ensilados ácidos o alcalinos o enzimáticos destinados a la alimentación animal o para el aislamiento de quitina. Últimamente, la fermentación láctica ha sido propuesta para el tratamiento de estos bioproductos debido a que es barata, amigable con el medio ambiente y retiene la calidad nutricional, por lo que incrementa la explotación de este recurso para la alimentación acuícola (Fagbenro & Bello-Olusoji, 1997).

En los últimos años se ha demostrado que la basura de camarón es una excelente fuente de proteínas, las cuales se encuentran asociadas con la quitina, minerales, lípidos y pigmentos (No *et al.*, 1989). Todos ellos pueden ser removidos cuantitativamente y destinados a diversas aplicaciones biológicas tales como alimentos, colorantes y productos farmacéuticos (Rao *et al.*, 2000). La basura fermentada forma un ensilaje que contiene un licor rico en proteínas y quitina insoluble (Nair & Prabhu, 1989). También, se ha estudiado la estabilización de los pigmentos, especialmente astaxantina, en ensilados con bacterias lácticas (Guillou *et al.*, 1995; Armenta-López *et al.*, 2002). De acuerdo con Gildberg & Stenberg (2001), estos residuos de camarón contienen 26.5% de materia seca y cerca de 74% son materia orgánica (principalmente proteína y quitina), 0.4% son lípidos y el resto son minerales. De los tejidos proteicos se ha obtenido un hidrolizado, el cual puede ser una herramienta valiosa en farmacología o como agente estimulante del crecimiento en alimentación animal.

En estudios realizados previamente por el grupo de investigación del ITSON, para el aprovechamiento de la cabeza de camarón mediante fermentación láctica (SIMAC 980101020), se obtuvo una fracción líquida rica en proteínas, minerales y astaxantina,

además de una fracción sólida de quitina. Durante el desarrollo de estos proyectos se optimizaron las condiciones de la fermentación láctica del residuo de camarón. Para ello se utilizaron desechos de camarón de cultivo triturado, haciéndose ensayos con diversas fuentes de carbono (glucosa, sacarosa y jarabe de maíz), y además se experimentaron con diferentes cepas de *Lactobacillus*, encontrándose que las condiciones óptimas se lograron al utilizar sacarosa y una cepa aislada de residuos marinos, identificada como *Lactobacillus*, con tiempos de fermentación de 24 horas y seguimiento de pH y acidez total titulable. En estudios recientes se han realizado análisis por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) de concentrado proteico liofilizado, identificándose 16 aminoácidos libres. Las muestras analizadas exhiben un esquema muy similar de aminoácidos esenciales y no esenciales. De acuerdo con su abundancia relativa los aminoácidos predominantes fueron: alanina y glicina que en total constituyen 25%, y el de menor abundancia fue la metionina con 3.1% (López-Cervantes *et al.*, 2006).

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

El déficit en proteínas nutricionales es muy alto para algunos segmentos de la población global, y puede agravarse más en el futuro a medida que la población continúe incrementándose, especialmente por el costo de la producción de proteínas en relación con la de los carbohidratos o lípidos. Para satisfacer esta demanda es necesario encontrar nuevas fuentes de proteínas y desarrollar métodos idóneos para su utilización. El procesar el residuo de camarón no sólo resuelve un problema ambiental, sino que también ayuda a obtener un hidrolizado proteico. La fermentación láctica se propone como alternativa para el tratamiento de estos desechos, ya que ofrece atractivas ventajas tales como bajos costos de inversión, lo cual es muy importante en lugares donde no se cuenta con infraestructura. También, da un uso integral a estos residuos debido a que se pueden separar productos de alto valor comercial como quitina, pigmentos y proteínas. Por lo tanto, en el presente estudio se exponen las condiciones óptimas para la extracción y secado de las proteínas recuperadas de los residuos de camarón y, adicionalmente, se muestran los métodos analíticos desarrollados para su caracterización bioquímica. Con lo anterior, se estaría abriendo la oportunidad de dar un valor agregado a los desechos de camarón producido en la industria acuícola de la región, además de disminuir el efecto de contaminación ambiental.

Asimismo, se ha trabajado de manera coordinada con el usuario de los resultados de este proyecto, de tal manera que en la primera fase del proyecto se hicieron los estudios de escalamiento para el proceso de fermentación láctica de los desechos del camarón, etapa no prevista en el inicio de este proyecto. Este estudio mostró el potencial de aplicación del proyecto y dio como resultado la creación de una empresa biotecnológica en el Sur de Sonora, BIODERPAC, SA de CV, ubicada por la carretera Etchojoa-Huatabampo, Sonora, México, con una inversión inicial de alrededor de nueve millones de pesos para

la primera etapa, con una capacidad de procesamiento de 20 toneladas de desechos de camarón por día y la generación de 45 empleos directos en la región. En este contexto, se iniciaron los estudios de caracterización del hidrolizado proteico obtenido de la fermentación industrial, generándose información representativa para trabajos futuros. El volumen de hidrolizado que se obtiene a nivel industrial ha permitido hacer estudios del efecto que tiene este hidrolizado como biofertilizante. Los ensayos se realizaron en suelos de más de 500 hectáreas, por lo que se requieren grandes volúmenes de hidrolizado proteico. En la actualidad, se ha continuado invirtiendo en las instalaciones del proceso industrial, así como en la calidad de la producción, lográndose en 2009 cumplir con los requisitos de la acreditación para el proceso productivo

► **Objetivo general**

Establecer las condiciones óptimas para la extracción y secado de las proteínas obtenidas de la fermentación láctica de la basura de camarón.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

A continuación, se presentan las diversas etapas desarrolladas para la obtención y caracterización bioquímica de los hidrolizados proteicos obtenidos a partir de los bioproductos generados durante el procesamiento comercial del camarón de cultivo del Sur de Sonora, México. Las etapas desarrolladas durante el proyecto son: optimización de la fermentación láctica de los residuos, aislamiento de los productos de la fermentación, conservación del hidrolizado por secado, así como la caracterización bioquímica y calidad sanitaria de los hidrolizados proteicos líquidos, en pasta y en polvo.

Fermentación láctica de los desechos de camarón y sus productos

Los desechos de camarón (cabezas y cefalotórax) descongelados y molidos fueron mezclados con 10% de sacarosa (p/p) y 5% (v/p) del inóculo comercial previamente activado (densidad óptica igual a 1.7); se ajustó el pH por debajo de 6.5 con ácido cítrico 2M durante las primeras tres horas e incubados con agitación a 35°C durante 36 horas. El pH y la acidez total titulable (%ATT) fueron monitoreados hasta alcanzar un pH por debajo de 4.5 y una acidez titulable de 3.5% (López-Cervantes, Sánchez-Machado, Rosas-Rodríguez, 2006). El producto de la fermentación es viscoso y de color naranja intenso debido a la presencia de astaxantina. El fermentado fue centrifugado (5°C, 1250 rpm, 15 minutos) para obtener una fracción quitinosa (sedimento), un hidrolizado líquido rico en proteínas y una pasta lipídica (sobrenadante). En peso seco, la fracción más grande corresponde al hidrolizado líquido proteico (55%), la quitina cruda (10%), pasta lipídica (5%) y el remante corresponde a los sólidos finos obtenidos durante el lavado de la quitina cruda.

Conservación del hidrolizado proteico en polvo y en pasta

Para la producción del hidrolizado en polvo, el hidrolizado líquido fue deshidratado utilizando un secador de atomización a escala de laboratorio. Inicialmente, el líquido fue calentado en una parrilla eléctrica a 80°C. Las temperaturas del aire fueron 180°C y 140°C en entrada y la salida del secador, respectivamente. La velocidad de la bomba peristáltica fue mínima para producir un flujo lento (1 l/h) y el flujo del aire en la cámara de 100%.

El concentrado en pasta fue preparado en diseño experimental de laboratorio. Se estudiaron tres temperaturas diferentes a 70, 80 y 90°C, siendo a 80°C la óptima. El diseño experimental consistió en una bomba de vacío conectada a una trampa de humedad; a su vez, ésta estaba conectada a un matraz con algodón con la finalidad de retener la humedad proveniente de la evaporación del agua del hidrolizado proteico. El tiempo necesario para lograr la consistencia óptima del concentrado fue de una hora y media. En la Figura 1, se muestran los hidrolizados proteicos en tres presentaciones, polvo, pasta y líquido.

Figura 1. Hidrolizados proteicos en tres presentaciones



Concentrado



Hidrolizado proteico líquido



Hidrolizado proteico polvo

Composición química de los hidrolizados proteicos

Los hidrolizados de proteínas fueron analizados para humedad, cenizas y proteínas usando el método estándar AOAC 930.15, 942.05 y 992.15 respectivamente (AOAC, 1995). El contenido de humedad en el polvo seco, el concentrado en pasta y en el líquido

hidrolizado fue de 5.78, 32.06 y 83.29%, respectivamente. El contenido de cenizas está en el rango de 2.03 (en el hidrolizado líquido) a 8.25% (en el polvo). El alto contenido de minerales se puede atribuir a que durante la fermentación de los residuos de camarón ocurre una desmineralización y la mayoría de los minerales quedan en el hidrolizado. El contenido promedio de proteínas fue de 8.43%, 28.02% y 46.73% para el hidrolizado líquido, el concentrado en pasta y el polvo seco, respectivamente.

Perfil de aminoácidos en los hidrolizados

El contenido de aminoácidos totales en el polvo, la pasta y el licor sin tratamiento fue de 344.8 mg/g (bs), 360.6 mg/g (bs), y 237.7 mg/g (bs), respectivamente. En ambas formas –polvo y pasta–, tirosina fue el aminoácido presente en mayor cantidad, 19.3 y 29.5%, respectivamente; mientras que para el licor sin tratamiento el aminoácido más abundante fue alanina con 14.4%. El total de aminoácidos esenciales presentes, el licor sin tratamiento, polvo y pasta fue de 47.0, 61.4 y 53.1%, respectivamente.

Optimización de la hidrólisis alcalina de proteínas para cuantificación de triptófano y tirosina por HPLC

El contenido de triptófano total es poco reportado en el perfil de aminoácidos debido a que es destruido durante las condiciones ácidas requeridas para la hidrólisis de las proteínas. Por ello, para la determinación de este aminoácido se requiere una hidrólisis alcalina de las proteínas. Con base en ello, en este proyecto se optimizaron las condiciones alcalinas para la hidrólisis de las proteínas del hidrolizado liofilizado mediante ensayos a diferentes tiempos de hidrólisis, temperaturas y concentración de hidróxido de sodio. Además, las condiciones cromatográficas fueron optimizadas y validadas para el análisis de triptófano libre y total, encontrándose que el contenido de triptófano total (10.78 mg/g bs de muestra seca) es tres veces mayor que el triptófano libre en el hidrolizado liofilizado. El método propuesto requiere cantidades pequeñas de muestra y mínima preparación de las muestras.

Cuantificación de riboflavina y aminoácidos aromáticos en el hidrolizado

Como parte de este proyecto, fue desarrollado y validado un método analítico para la determinación del contenido de riboflavina (vitamina B2) y aminoácidos aromáticos libres (tirosina, fenilalanina y triptófano) por cromatografía de líquido de alta resolución (HPLC). El método desarrollado es rápido, sensible, preciso, exacto y permite cuantificar a los cuatro componentes bajo las mismas condiciones, variando solamente las longitudes de onda óptimas para cada compuesto. Al aplicar este método, se encontró que la pasta presenta el mayor contenido de tirosina, 7.03 mg/g (bs), mientras que el contenido de fenilalanina y triptófano en el hidrolizado líquido fue de 16.28 mg/g (bs), y 5.57 mg/g (bs), respectivamente. Además, la pasta con 4.24 µg/g (bs) fue la principal fuente de riboflavina (ver Figura 2). En la Figura 3 se presentan los cromatogramas de las muestras de hidrolizados.

Figura 2. Contenido de tirosina, fenilalanina, triptófano libres y riboflavina en tres formas de hidrolizado proteico

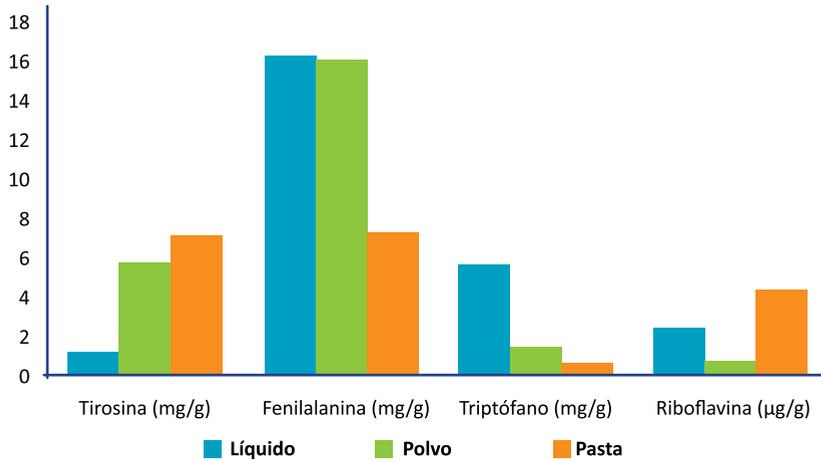
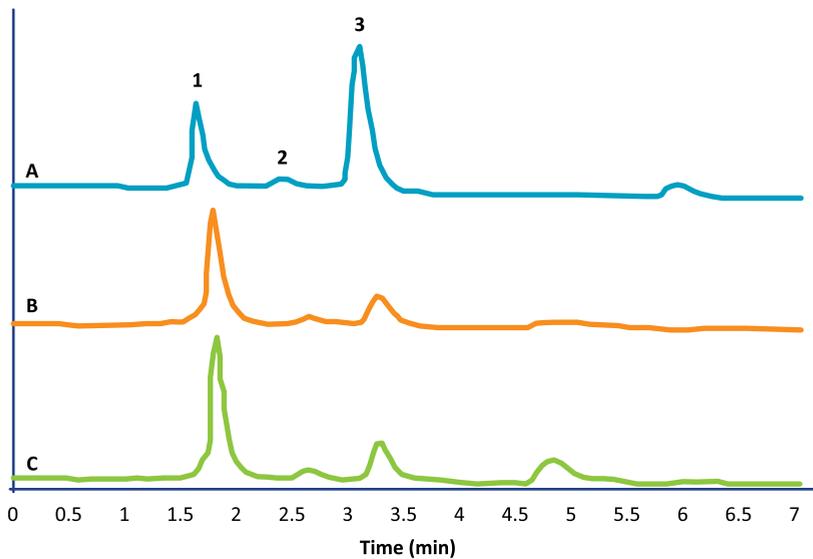


Figura 3. Cromatograma de las muestras de hidrolizados



HPLC-FL cromatograma de tirosina (1); fenilalanina (2) y triptófano (3) en el líquido hidrolizado proteico (A), concentrado en pasta (B) y polvo seco (C) de los remanentes de camarón fermentados

Calidad sanitaria

Las aminas biogénicas se forman por la descarboxilación enzimática o microbiológica de diversos aminoácidos libres, y aparecen en productos fermentados, pescados, vinos y quesos. Considerando que el proceso de producción de los hidrolizados es mediante fermentación láctica, se decidió cuantificar aminas biogénicas como la histamina, tiramina, putrescina y cadaverina en el hidrolizado proteico en polvo por HPLC como índice de calidad sanitaria. La presencia de las aminas biogénicas esta asociada con las condiciones sanitarias de los procesos de producción de alimentos. Adicionalmente, los análisis microbiológicos del hidrolizado en polvo fueron negativos para coliformes –*E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, fungi y *Pseudomonas*. Por otra parte, la cuenta total de mesófilos fue de 1730 unidades formadora de colonias (UFC)/g, sin embargo, este nivel no representa un riesgo para la salud.

► Productos entregados

Difusión

1. Publicaciones en revistas indexadas internacionales:

- López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D.I., Rosas-Rodríguez, J.A. (2006). "Analysis of free amino acids in fermented shrimp waste by high-performance liquid chromatography". *Journal of chromatography A*, 1105, 106-110.
- Sánchez-Machado, D.I., Chavira-Willys, B., López-Cervantes, J. (2008) "High-performance liquid chromatography with fluorescence detection for quantitation of tryptophan and tyrosine in a shrimp waste protein concentrate". *Journal of Chromatography B*, 863, 88-93.
- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Martínez-Cruz O. (2008). "Quantification of Organic Acids in Fermented Shrimp Waste by HPLC". *Food Technology and Biotechnology*, 46 (4) 456-460.
- Bueno-Solano, C., López-Cervantes, J., Campas-Baypoli, O.N., Lauterío-García, R., Adan-Bante, N.P., Sánchez-Machado, D.I. (2009). "Chemical and biological characteristics of protein hydrolysates from fermented shrimp by-products". *Food Chemistry* 112, 671-675.
- Bueno-Solano, C., López-Cervantes, J., Campas-Baypoli, O. N., Cortez-Rocha, M. O., Casillas-Hernández, R., Milán-Carrillo, J., Sánchez-Machado, D. I. (2009). "Quantitative HPLC analysis of riboflavin and aromatic amino acids in three forms of shrimp hydrolysates". *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 32, 3009-3024.

2. Capítulo de libro:

- López-Cervantes, J., Adam-Bante, N. P., Sánchez-Machado, D. I. (2009). Capítulo No. 8. "Separation and biochemical characterization of the products from fermented shrimp wastes". En: *Sea by-products as real material: New Ways of application*. Le Bihan E. (Ed.). Transworld Research Network, Kerala, India. ISBN. 978-81-7895-485-1, pp. 509-524.

3. Memorias en extenso:

- Sánchez-Machado, D.I., López-Cervantes, J., Ríos-Vázquez, N.I. (2005). "Transformación biotecnológica de los residuos de camarón de cultivo". Extenso en Encuentro Académico: Avances en el Aprovechamiento Biotecnológico de Productos Agropecuarios. Reynosa, Tamaulipas, México: Editado por Universidad Autónoma de Tamaulipas. ISBN: 978-970-722-609-8, pp. 190 – 203.
- Adan-Bante, N.P., López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D.I. (2007). "Perfil de aminoácidos y composición proximal de las fracciones obtenidas del fermentado de los residuos de camarón". Extenso en: VI Congreso del Noroeste, II Nacional en Ciencias Alimentarias y Biotecnología. Hermosillo, Sonora, México: Universidad de Sonora.
- Bueno-Solano, C., Sánchez-Machado, D. I., Rodríguez-Núñez J. R., Félix-Camarena, C. A., López-Cervantes, J. (2007). "Cenizas, proteínas y aminoácidos totales en el concentrado proteico obtenido de la fermentación de los residuos de camarón". Extenso en: VI Congreso del Noroeste, II Nacional en Ciencias Alimentarias y Biotecnología. Hermosillo, Sonora, México: Universidad de Sonora.
- Adan-Bante N.P., López-Cervantes J., Bueno-Solano C., Campas-Baypoli O.N., Sánchez-Machado D.I. (2009). "Separación y caracterización bioquímica de los productos de la fermentación láctica de los residuos del camarón". Extenso en: II Encuentro de expertos en residuos sólidos. Morelia, Michoacán.

Formación de Recursos Humanos

- Doctorado en Ciencias en Biotecnología: "Caracterización bioquímica de los bioproductos aislados de la fermentación láctica de los residuos de camarón". 2008.
- Maestría en Ciencias en Recursos Naturales: "Determinación de triptófano y tirosina (libres y proteicos) por HPLC en hidrolizados de residuos de camarón". 2006.
- Maestría en Ciencias en Recursos Naturales: "Aplicación de las perlas de quitosano y del péptido de la semilla de *moringa oleifera* en el tratamiento de aguas". 2008.

- Ingeniero Biotecnólogo: “Análisis de aminoácidos libres en el residuo de cabeza de camarón fermentado por cromatografía líquida de alta resolución”. 2005.
- Ingeniero Biotecnólogo: “Cuantificación de ácidos láctico durante el ensilaje de residuos de camarón por cromatografía líquida de alta resolución”. 2005.
- Ingeniero Biotecnólogo: “Determinación de las propiedades funcionales de las proteínas de camarón”. 2006.
- Ingeniero Biotecnólogo: “Extracción de quitosano a partir del licor proteico obtenido de la fermentación láctica de los desechos de camarón”. 2008.

► Conclusiones

Los hidrolizados proteicos líquidos, en pasta y en polvo derivados de la fermentación láctica de los residuos de camarón son buenas fuentes de aminoácidos esenciales, proteínas y cenizas.

Estos hidrolizados pueden ser incorporados en la dieta de humanos y animales como suplementos por su buena calidad nutricional y sanitaria.

Los métodos analíticos desarrollados y validados han demostrado su aplicabilidad para la cuantificación de aminoácidos libres y totales, vitaminas y aminos biogénicas para las tres presentaciones de hidrolizados debido a su precisión, exactitud y mínima manipulación de muestras.

► Referencias

AOAC, 1995. *Official Methods of Analysis*, 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.

Armenta-López, R., Guerrero, L., Huerta S. (2002). “Astaxanthin extraction from shrimp waste by lactic fermentation and enzymatic hydrolysis of the carotenoprotein complex”. *Journal of Food Science*, 67: 1002-1006.

Cañipa-Morales, A.J., Duran-de-Bazúa, C. (1997). “Reaprovechamiento del cefalotórax de camarón, un proyecto exitoso”. *Revista Industria Alimentaria*. Vol 19 (3): 10-17.

Fagbenro, O.A., Bello-Olusoji, O.A. (1997). “Preparation, nutrient composition and digestibility of fermented shrimp head silage”. *Food Chemistry*. Vol (60): 489-493.

Gildberg, A., Stenberg, E. (2001). “A new process for advanced utilization of shrimp waste”. *Process Biochem*. 36: 809-812.

Guillou, A., Khalil, M., Adambounou, L. (1995). "Effects of silage preservation on astaxanthin forms and fatty acid profiles of processed shrimp (*Pandalus borealis*) waste". *Aquaculture* 130: 351-360.

López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D.I., Rosas-Rodríguez, J.A. (2006). "Analysis of free amino acids in fermented shrimp waste by high-performance liquid chromatography". *Journal of Chromatography A*, 1105, 106-110.

Mandeville, S.; Yaylayan, V.; Simpson, B.K. (1992). "Proximate analysis, isolation and identification of amino acids and sugars from raw and cooked commercial shrimp waste". *Food Biotechnology*. 6:51-54.

Nair, A., Prabhu, P.V. (1989). "Studies on the chemical and nutritional quality of protein powders isolated from shrimp waste". *Fisher Technology*, 26, no. 1, 56-59.

No, K.H., Meyers, S.P., Lee, K.S. (1989). "Isolation and characterization of chitin from crawfish shell waste". *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 37: 575-579.

Rao, M.S., Muñoz, J., Stevens, W.F., 2000. "Critical factors in chitin production by fermentation of shrimp biowaste". *Applied Microbiology Biotechnology*, 54, 808-513.

Rui, R., Nunes, M.L. (2003). "Nutritional quality of red shrimp, *Aristeus antennatus* (Risso), pink shrimp, *Parapenaeus longirostris* (Lucas), and Norway lobster, *Nephrops norvegicus* (Linnaeus)". *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84; 89-94.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México), 2009: *Anuario Estadístico de Pesca*, México City. pp-329/05.

Shahidi, F., Synowiecki, J., Balejko, J. (1995). "Proteolytic hydrolysis of muscle protein of harp seal (*Phoca groenlandica*)". *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 42, 2634-2638.



DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DEL EXTRACTO ACTIVO DE SULFORAFANO A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE BRÓCOLI (*BRASSICA OLERACEA* L.)¹

Jaime López-Cervantes,² Dalia I. Sánchez-Machado,
Olga Nydia Campas-Baypoli y Carolina Bueno-Solano

► Introducción

Anualmente la industria alimentaria produce una cantidad importante de residuos que comúnmente son desechados, lo cual implica gastos de manejo, así como problemas ambientales. Recientemente las industrias se han esforzado para darle valor agregado a los subproductos de sus procesos con la finalidad de optimizar sus recursos, mejorar su competitividad y para contribuir en el cuidado del medio ambiente.

El aprovechamiento de estos residuos agroindustriales se ha ido incrementando en los últimos años debido a que se generan productos de interés para diversas industrias tales como la farmacéutica, cosmética y alimentaria. Ejemplo de lo anterior es la extracción de colorantes como el licopeno y β -caroteno a partir de los residuos del procesamiento del tomate (Sabio *et al.*, 2003), antocianinas a partir de cáscaras frescas de café (Prata

¹ Proyecto FOMIX: SON-2006-C01-66073

Monto aprobado: \$150,000.00

Aportaciones concurrentes: \$150,000.00

Monto total: \$300,000.00

² Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias,
Instituto Tecnológico de Sonora.



& Oliveira, 2007). Recientemente de los residuos agrícolas del brócoli se ha estudiado la extracción de compuestos fenólicos (Peschel *et al.*, 2006) y de los residuos del proceso industrial se purificó la enzima peroxidasa (Duarte-Vázquez *et al.*, 2007).

A nivel mundial se producen alrededor de 19,107,751 toneladas de brócoli y coliflor, de las cuales China e India generan 70% de la producción. Italia, Francia y España son los principales productores del mercado Europeo, mientras que Estados Unidos y México del mercado Latinoamericano (FAO, 2009). Considerando que de cada planta se comercializa solamente la inflorescencia, la cual constituye alrededor de 30% del peso total, se estima un remanente mundial de aproximadamente 38 millones de toneladas de residuos de este vegetal. Específicamente, en el Valle del Yaqui se cultivan anualmente en promedio 500 hectáreas (has) de brócoli con una producción promedio de 12,377 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2009). El 100% del producto se comercializa en fresco para exportación. De las inflorescencias producidas en el campo, alrededor de 70% cumplen con las especificaciones de calidad, por lo que se estima un remanente promedio de 3,700 tons de inflorescencias y del resto de la planta.

La principal limitante para el aprovechamiento de estos residuos agrícolas en la alimentación animal o humana es la toxicidad (bociogénicos) que se atribuye a su alto contenido de glucosinolatos (Alpuche-Sólis & Paredes-López, 1992). Los productos de la hidrólisis de estos compuestos azufrados le imparten olores y sabores intensos característicos a los residuos agrícolas del brócoli, lo que trae como consecuencia el rechazo de este alimento. En la planta la función de estos compuestos es la de protección contra predadores o microorganismos (Lampe, 2003). Paradójicamente de manera reciente estos compuestos han adquirido interés por sus efectos benéficos para la salud, ya que se están considerando como fitoquímicos.

La innovación de un proceso para obtener productos de valor agregado a partir de los residuos agrícolas del brócoli es compleja. Sin embargo, en el presente estudio se proponen algunas alternativas para aprovechar estos residuos mediante la obtención de productos con valor agregado, y a la vez minimizar el impacto que ejercen en el medio ambiente. Para lograr lo anterior, es necesaria la caracterización fisicoquímica de los compuestos de interés tales como la fibra, proteína, vitaminas, minerales y fitoquímicos. Entre los fitoquímicos que contiene el brócoli están los compuestos fenólicos y los glucosinolatos (Jeffery *et al.*, 2003). Actualmente existe un gran interés por el glucosinolato glucorafanina, que es el compuesto precursor del isotiocianato sulforafano. Este último se ha comprobado que posee actividad anticarcinogénica, ya que presenta propiedades específicas contra la formación de tumores sólidos (Talalay & Fahey, 2001). Por lo anterior, en el presente trabajo se consideró al compuesto sulforafano como el fitoquímico de interés.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

La gran cantidad de residuos agrícolas producidos cada año constituye un verdadero problema para los agricultores, quienes están obligados a deshacerse de ellos pero esto genera una inversión por disposición de residuos así como contaminación ambiental. Actualmente los tratamientos utilizados suelen ser baratos pero inadecuados. Por ello, el interés en la composición de estos residuos se ha extendido de los nutrientes tradicionales a compuestos bioactivos que pueden prevenir enfermedades crónicas.

En el presente trabajo de investigación se presentan los resultados del aprovechamiento de los residuos agrícolas del brócoli para la obtención de productos con valor agregado. Lo anterior contribuiría en la disminución de la contaminación por residuos sólidos, lo cual traería como consecuencia la mejora del medio ambiente. Pero el interés principal del tratamiento de estos residuos vegetales es la preparación de productos novedosos que puedan ser comercializados para mejorar la competitividad de las empresas.

► Objetivo general

Desarrollar un método para la extracción y conservación del sulforafano a partir subproductos del brócoli mediante la identificación y cuantificación por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

El proyecto se llevó a cabo en dos etapas: la Etapa I fue para la caracterización química de los residuos agrícolas y la Etapa II fue para desarrollar el método.

Etapa I. Consistió en la caracterización fisicoquímica de harinas obtenidas a partir de los residuos agrícolas de brócoli, en la cual se incluyó la determinación del perfil de aminoácidos, perfil de ácidos grasos, proteína, cenizas, lípidos, fibra cruda, y las propiedades fisicoquímicas de inflorescencias, tallos y hojas.

Las muestras se recolectaron en el campo, y se separaron en lotes de inflorescencias, tallos y hojas (Figura 1). El tamaño de partícula de las muestras se disminuyó utilizando un cortador de cuchillas. Posteriormente, las muestras se secaron a 60°C, y se tritaron para obtener las harinas (Figura 2). El contenido de humedad, proteína cruda, cenizas totales y fibra cruda se realizó según los métodos oficiales de la AOAC (1984). El contenido de lípidos se determinó por extracción con solventes de acuerdo con el método de Sánchez-Machado *et al.* (2004).

Figura 1. Residuos agrícolas de brócoli



Figura 2. Harinas de residuos agrícolas de brócoli



El contenido de aminoácidos totales se determinó por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), aplicando el método de López-Cervantes *et al.* (2006). El contenido relativo de ácidos grasos en los lípidos de las harinas se determinó por cromatografía de gases de acuerdo con la metodología establecida por Sánchez-Machado *et al.* (2004). Las propiedades fisicoquímicas que se determinaron a las harinas fueron el índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), pH y el tamaño de partícula.

La composición bioquímica muestra que las harinas obtenidas contienen los nutrientes necesarios para su utilización como suplementos alimenticios. Pero, existen variaciones significativas en sus constituyentes según la fracción de la planta analizada, lo cual se debe considerar durante su uso y aplicación en la industria alimentaria. Por ejemplo, la harina de tallos presentó el mayor contenido de fibra, un alto índice de absorción de agua, un color claro y una menor intensidad del olor característico del brócoli; ésta podría evaluarse para la retención de agua en productos cárnicos.

Etapa II. En ésta se validó la metodología para la cuantificación del fitoquímico sulforafano en muestras frescas y liofilizadas de los residuos de brócoli, utilizando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Se utilizó el estándar de sulforafano para optimizar las condiciones cromatográficas en el sistema HPLC, el cual está equipado con un detector de arreglo de diodos y una columna analítica (250 mm X 4,6 mm d.i.) Exil ODS C18 con un tamaño de partícula de 5 μ m. Las condiciones cromatográficas fueron: fase móvil acetonitrilo, agua en proporción 30:70 (v/v) con gradiente isocrático. La velocidad del flujo a 0.6 ml/min, la temperatura de la columna a 36°C. La detección se realizó por ultravioleta a 202 nm y el tiempo total entre inyecciones de 20 min.

Con base en lo anterior se procedió a optimizar las condiciones de conversión de glucorafanina a sulforafano en muestras de brócoli fresco por medio de la aplicación de un diseño de superficie de respuesta. Para la purificación de los extractos orgánicos, se utilizó una columna de extracción en fase sólida (SPE, Figura 3) de acuerdo con el método propuesto por Bertelli *et al.* (1998).

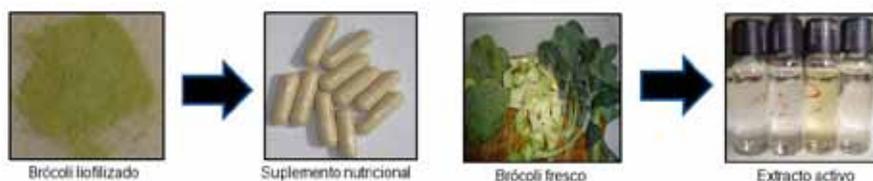
La preparación de la muestra consistió en tres pasos: 1) La conversión de glucorafanina a sulforafano, 2) La extracción de sulforafano con diclorometano, y por último 3) la purificación del extracto orgánico utilizando columnas SPE. La solución colectada se secó en estufa de vacío a 45°C y el residuo se disolvió con 2 ml de acetonitrilo; después, el extracto se filtró a través de una membrana de celulosa de 0.45 μm . Finalmente, se inyectaron 20 μl en la columna del HPLC. La validación del método propuesto se realizó considerando los parámetros de linealidad, límite de detección, precisión, reproducibilidad y exactitud.

La aplicabilidad práctica del método se determinó en muestras frescas y liofilizadas de brócoli. También se evaluó el contenido de sulforafano en muestras de brócoli fresco almacenado por 7 días en refrigeración y congelación. El método desarrollado para cuantificar sulforafano presenta ventajas en cuanto a la simplicidad de los procedimientos

Figura 3. Conversión, extracción y purificación de los extractos



Figura 4. Productos obtenidos de los residuos agrícolas de brócoli



para la preparación y purificación de la muestra, volumen pequeño de solventes para la extracción y características analíticas apropiadas del método HPLC en fase reversa. En la Figura 4 se muestran los productos generados a partir de los residuos agrícolas de brócoli.

► Productos entregados

A) Difusión

1. Publicaciones en revistas indexadas internacionales:

- Campas-Baypoli ON, Sánchez Machado DI, Bueno-Solano C, Ramírez-Wong B., López-Cervantes J. "HPLC method validation for measurement of sulforaphane level in broccoli by-products". *Biomedical Chromatography* 2010; 24:387-392.
- Campas-Baypoli ON, Sánchez-Machado DI, Bueno-Solano C, Núñez-Gastélum JA, Reyes-Moreno C, López-Cervantes J. "Biochemical composition and physicochemical properties of broccoli flours". *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 2009; 60(S4):163-173.
- Campas-Baypoli ON, Bueno-Solano C, Martínez-Ibarra DM, Camacho-Gil F, Villa-Lerma AG, Rodríguez-Núñez JR, López-Cervantes J, Sánchez Machado DI. "Contenido de Sulforafano (1-isotiocianato-4-(metilsulfinil)-butano) en Vegetales Crucíferos". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 2009; 59 (1).

2. Capítulo de libro:

- Olga N. Campas-Baypoli, Jaime López-Cervantes, Marco A. Gutiérrez-Coronado, Ma. I. Estrada-Alvarado, Dalia I. Sánchez-Machado. "Caracterización bioquímica y cuantificación de sulforafano en residuos del brócoli: Investigación de CA". En Del Hierro Parra E., Gassós Ortega, L. E., González Roman, M. *La educación y el desarrollo social*. Capítulo I, páginas 113-126. México: ITSON. ISBN: 978-607-95240-0-5 (Edición en papel), ISBN: 978-607-95240-1-2 (Edición electrónica).

3. Memorias en extenso:

- Jaime López Cervantes, Dalia Isabel Sánchez Machado, Olga Nydia Campas Baypoli (2007). "Perfil de Aminoácidos, Fibra cruda, Proteínas, Cenizas y Propiedades Funcionales de los Residuos de Brócoli". Extenso en: VI Congreso de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Universidad de Sonora.

4. Trabajos libres:

- Ponencia en cartel en la IV Conferencia de latinoamericanas en las ciencias exactas y de la vida Ciencia Mujer 2009, con el tema: "Propiedades funcionales y nutraceuticas de los bioproductos del brócoli". Realizado del 14 al 16 de Octubre en Guatemala. 2009.

- Ponencia en cartel en el XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y VII Simposio Internacional de Producción de Alcoholes y Levaduras, con el tema: “Fermentación láctica de residuos de brócoli”. Realizado del 21 al 26 de Junio en Acapulco, Guerrero, México. 2009.
- Participación como ponente en la Quinta reunión anual de academias, con el tema: “Caracterización bioquímica y cuantificación de sulforafano en residuos del brócoli: Investigación del Cuerpo Académico”. Organizado por la Dirección de Desarrollo Académico del Instituto Tecnológico de Sonora. 2008.
- Presentación en cartel en las Jornadas Científicas de Biotecnología y Ciencias Alimentarias. Con el tema: “Cuantificación del fitoquímico sulforafano en brócoli y repollo frescos”. Organizado por el Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias del Instituto Tecnológico de Sonora. 2008.
- Ponencia en cartel en el VI Congreso del Noroeste y II Nacional en Ciencias Alimentarias y Biotecnología, con el tema: “Perfil de aminoácidos, fibra cruda, proteínas, cenizas y propiedades funcionales de los residuos de brócoli”. Realizado en el centro de las artes UNISON. Hermosillo, Sonora, México. 2007.

B) Formación de Recursos Humanos

- Doctorado en Biotecnología. “Estudio de los residuos agrícolas del brócoli como alimentos nutraceuticos: composición bioquímica y validación de un método HPLC para la cuantificación de sulforafano”, 2009.
- Ingeniero Biotecnólogo. “Efecto del secado en el contenido de sulforafano en residuos de brócoli fermentados”, 2009.
- Ingeniero Biotecnólogo. “Fermentación láctica de residuos de brócoli para la cuantificación de sulforafano por HPLC”, 2009.
- Ingeniero Biotecnólogo. “Caracterización química de los bioproductos obtenidos de la fermentación láctica de los residuos de brócoli”, 2009.
- Ingeniero Biotecnólogo. “Cuantificación de sulforafano en brócoli y sus germinados por HPLC”, 2009.
- Licenciado en Tecnología de Alimentos. “Identificación y cuantificación del sulforafano en repollo por HPLC”, 2008.
- Licenciado en Tecnología de Alimentos. “Identificación y cuantificación de sulforafano en brócoli fresco por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC)”, 2008.

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

Después de realizar esta investigación se considera que el aprovechamiento integral de los residuos agrícolas de brócoli es una alternativa viable económicamente y amigable con el medio ambiente, que promueve la obtención de productos con valor agregado

para su uso en la industria alimentaria. Con estos residuos se pueden obtener derivados alimenticios con propiedades beneficiosas para la salud como suplementos con alto contenido de fibra y/o proteína, mejoradores de textura o extractos activos ricos en sulforafano.

Además, los resultados de este proyecto darán apertura para el desarrollo y consolidación de una línea de generación y aplicación del conocimiento que dé origen a propuestas interdisciplinarias e interinstitucionales para dar continuidad al estudio del extracto de sulforafano como potente anticarcinogénico, mediante la formación de personal altamente especializado y la vinculación con el con el sector empresarial.

► Referencias

AOAC. 1984. *Official methods of analysis*. 14th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.

Alpuche-Solis AG, Paredes-López O. "Assessment of glucosinolates in broccoli by three different methodologies". *Journal of Food Biochemistry* 1992; 16(5): 265-275.

Bertelli D, Plessi M, Braghiroli D, Monzani "A. Separation by solid phase extraction and quantification by phase reverse HPLC of sulforaphane in broccoli". *Food chemistry* 1998; 63(3): 417- 421.

Duarte-Vázquez MA, García-Padilla S, García-Almendárez BE, Whitaker JR, Regalado C. "Broccoli processing wastes as a source of peroxidase". *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2007; 55(25): 10396-10404.

FAO. "Food and Agriculture Organization of the United Nations", 2009. FAO Statistical Database, FAOSTAT-Agriculture. Available in: <http://faostat.fao.org/site/567/>

Jeffery EH, Brown AF, Kurilich AC, Keck AS, Matusheski N, Klein BP, Juvic JA. "Variation in content of bioactive components in broccoli". *Journal of Food Composition and Analysis* 2003; 16: 323–330.

Lampe, J.W. "Spicing up a vegetarian diet: chemopreventive effects of phytochemicals". *American Journal of Clinical Nutrition* 2003; 78(suppl): 579S-583S.

López-Cervantes J, Sánchez-Machado DI, Rosas-Rodríguez JA. "Analysis of free amino acids in fermented shrimp waste by high-performance liquid chromatography". *Journal of Chromatography A* 2006; 1105(1-2): 106-110.

Prata E.R.B.A, Oliveira L.S. "Fresh coffee husks as potential sources of anthocyanins". *LWT Journal Food Science and Technology* 2007; 40: 1555-1560.

Sabio E., Lozano M., Montero de Espinoza V., Mendes R.L., Pereira A.P., Palavra A.F. and Coelho J.A. "Lycopene and β -carotene extraction from tomato processing waste using supercritical CO₂". *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2003; 42: 6641-6646.

Sanchez-Machado DI, López-Cervantes J, López-Hernández J, Paseiro-Losada P. "Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds". *Food Chemistry* 2004; 85(3): 439-444.

SIAP-SAGARPA. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. (<http://www.siap.gob.mx/>), 2009.

Talalay P, Fahey J.W. "Phytochemicals from cruciferous plants protect against cancer by modulating carcinogen metabolism". *Journal of Nutrition* 2001; 131(11):3027S-3033.



SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD POR PERFILOMETRÍA ÓPTICA¹

Dino Alejandro Pardo Guzmán,² Marco Antonio Valenzuela Escárcega, Karel Axel Lizárraga, Martín Gustavo Vázquez Palma, David Domínguez y Ricardo Paz Pellat

► Introducción

La clasificación de la carne se refiere a la práctica de evaluación de la carne en relación con sus atributos organolépticos de calidad. Dependiendo de la normativa de cada país, la blandura, jugosidad y frescura de la carne se evalúan mediante una estimación de su madurez (ósea, adiposa y muscular) y la cantidad de grasa presente. Como se muestra en la Figura 1, en el ganado bovino la inspección se realiza sobre el Ribeye localizado entre la costilla 12ª y 13ª de una canal.

La clasificación objetiva de la carne no sólo permite al consumidor saber lo que está ingiriendo, sino que también ofrece al productor de ganado el conocer la calidad misma de su proceso. En la mayoría de los países, esta práctica es realizada mediante inspección visual de la canal. Un inspector entrenado utiliza plantillas para determinar el color de la grasa y de la carne, así como para medir el área del músculo *longissimus dorsi* o Ribeye.

¹ Proyecto FOMIX: SON-2004-C03-027

Monto aprobado y total: \$900,000.00

² Del Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Avanzada, SA de CV, de Hermosillo, Sonora.

Figura 1. Inspección de una canal



Evaluación del grado de calidad

En la mayoría de los países, la clasificación es realizada mediante inspección visual de la canal. Un inspector certificado o clasificador utiliza plantillas para determinar, primero, el color de la grasa y de la carne, así como para medir el área del músculo *longissimus dorsi* o Ribeye, el espesor de la grasa dorsal, y finalmente, la madurez o edad del animal, así como su conformación, se integran al diagnóstico para determinar el grado de calidad de la canal. En México, la clasificación de la carne de bovinos en canal se rige por la norma mexicana NMX-FF-078-SCFI-2002. Según se establece, esta norma tiene cobertura nacional y se instrumentará en las plantas de sacrificio y rastros TIF (Tipo Inspección Federal) registrados por la SAGARPA que operan bajo condiciones de sanidad e higiene establecidas en la norma oficial mexicana NOM-08-ZOO-1998.

Área del Ribeye

El área del Ribeye es un parámetro importante para valorar la canal por varias razones. Por un lado, países como Japón demandan que el tamaño de los cortes de Ribeye no rebasen un cierto límite; por otro, permiten estimar el rendimiento de la canal y con ello asignar un precio.

La figura 2 muestra una plantilla cuadriculada que personal entrenado utiliza para estimar el área del Ribeye. El personal marca sobre la plantilla el contorno del músculo para más tarde contar los cuadrados llenos y parcialmente llenos dentro del contorno.

Figura 2. Área del Ribeye

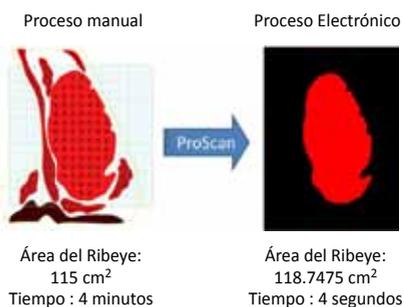
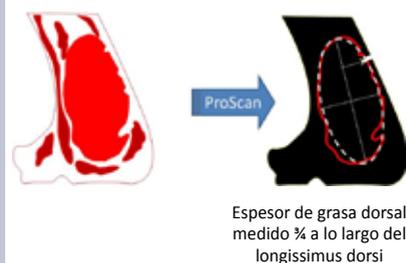


Figura 3. Espesor de grasa dorsal



Esto requiere mucho tiempo y gasto, pues se necesita una plantilla diferente para cada canal. La figura de la derecha muestra la segmentación automática que una computadora realiza sobre una imagen digital del Ribeye. Este proceso dura menos de un segundo. La desventaja que algunos equipos completamente automatizados presentan aquí es la confusión que enfrentan cuando el músculo de interés está prácticamente unido a músculos adyacentes. ProScan es un equipo semiautomatizado que permite al usuario separar con un toque el músculo de interés.

Espesor de grasa dorsal

El espesor de la grasa dorsal o subcutánea es quizás el parámetro más importante para estimar el rendimiento de la canal. Este parámetro es también el más difícil de medir, pues una vez que se retira la piel de la canal, ésta puede llevarse consigo una parte importante de la grasa dorsal. La medición de la grasa dorsal podría entonces ser más eficiente cuando el animal aún está vivo, mediante técnicas de ultrasonido. Esta opción, sin embargo, sería diferente a lo que marca la norma mexicana, japonesa o estadounidense.

En la figura 3 se muestra el procedimiento típico para estimar el espesor de la grasa dorsal de acuerdo con la norma mexicana. El personal de clasificación dibuja una bisectriz a lo largo del músculo de interés, después dibuja una línea perpendicular a la bisectriz partiendo de un punto a $\frac{3}{4}$ de longitud de la bisectriz. Finalmente, se mide el espesor de la grasa dorsal en el punto donde la perpendicular interceptó la capa de grasa dorsal. Este procedimiento tampoco se realiza en la mayoría de los rastros por lo tedioso y complicado, de manera que el personal decide medir el espesor de la grasa dorsal en cualquier punto bajo el supuesto que es constante. En la figura también se muestra cómo una computadora ha identificado el músculo de interés y ha aproximado su contorno al de una elipse; de esta manera puede fácilmente identificar el semieje mayor, y dibujar una línea perpendicular a éste con extrema precisión para finalmente medir el espesor de la grasa dorsal.

Marmoleo

Es la cantidad de grasa entreverada en las fibras musculares y se evalúa en el área del ojo de costilla en un corte hecho entre las costillas 12ª y 13ª. El marmoleo es el principal factor a tomar en cuenta por el consumidor estadounidense para determinar la calidad de la carne. Mientras el nivel de marmoleo sea mayor, la carne será de mejor calidad, puesto que ésta tendrá mejor sabor y será más jugosa. El marmoleo, sin embargo es también considerado, por consumidores en otros países, como un factor de riesgo para la salud. La correcta determinación del marmoleo depende en gran medida de la determinación del contorno del *longissimus dorsi*. La Figura 4 muestra el proceso de evaluación del marmoleo mediante algoritmos de procesamiento automatizado de imágenes.

Figura 4. Porcentaje de marmoleo

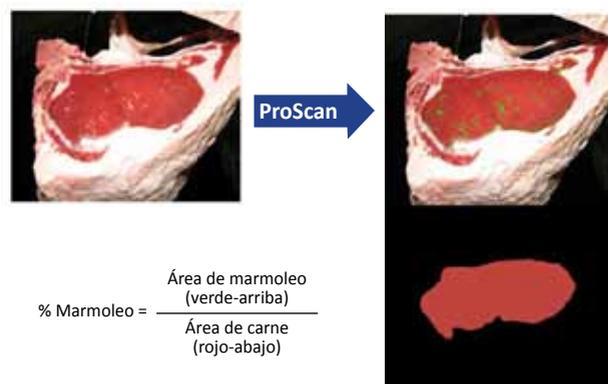


Figura 5. Osificación



Madurez ósea

La madurez ósea de la canal se observa al analizar el proceso de osificación en las costillas y en los cartílagos en el área torácica (Figura 5). Cuando las costillas empiezan a osificarse, se observan franjas rojas (irrigación) mientras que la osificación del cartílago se inicia como pequeñas islas rojas.

Color

Es quizás uno de los dos atributos sensoriales más importantes que puede juzgar el consumidor en el punto de venta. Las referencias al color de la carne en las especificaciones incluyen sólo colores asociados con cambios en la madurez. El color de la carne en la evaluación de una canal está íntimamente relacionado con otros factores como el estrés producido por el manejo inadecuado del bovino antes del sacrificio o el tipo de suplementos y vitaminas que ingirió.

El color de la carne y de la grasa son utilizados también como estimadores indirectos de la madurez muscular y adiposa respectivamente.

Actualmente se utilizan plantillas para estimar el color. Existen técnicas más objetivas para describir el color, el sistema más empleado ha sido definido por la Comisión Internacional de la Iluminación (Commission International de l'Eclairage, CIE). El sistema CIE-Lab se basa en el uso de estándares de iluminación y calcula las coordenadas de color L* (luminosidad), a* (coordenada verde-rojo) y b* (coordenada azul-amarillo) mediante el uso de espectrofotómetros o colorímetros.

Grado de calidad

La calidad de la carne depende de sus propiedades organolépticas, siendo la jugosidad y la suavidad las más importantes. La jugosidad está íntimamente ligada con el marmoleo, así como la suavidad lo está con la madurez fisiológica del animal. Así, una vez que el grado de marmoleo es determinado, la región de calidad a la que se asigna la canal dependerá de su grado de madurez como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Grado de calidad

Vertebra	Grupo de Madurez				
	A	B	C	D	E
Edad (meses)	Menos de 30	30-42	42-72	72-96	Más de 96
Calificación	1.0 - 1.9	2.0 - 2.9	3.0 - 3.9	4.0 - 4.9	5.0 - 5.9
Sacra	Distinta separación	Completamente fusionada	Completamente fusionada	Completamente fusionada	Completamente fusionada
Lumbar	Sin osificación	Casi completamente osificada	Completamente osificada	Completamente osificada	Completamente osificada
Torácica	Sin osificación	Alguna osificación	Parcialmente osificada	Considerable osificación (bordes de botones aun visibles)	Extensa osificación (bordes de botones casi invisibles)
Botones torácicos	0-10%	10-35%	35-70%	70-90%	>90%

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

La clasificación de la carne cumple varios objetivos:

1. Asistencia al productor de ganado para identificar y asignar el precio en función de parámetros objetivos de calidad y cantidad de la carne.
2. Una herramienta precisa para proveer a diferentes segmentos de mercado con la calidad de carne que están demandando.
3. Apoyo en la promoción y mercadotecnia de la calidad de los productos cárnicos.

Actualmente, la clasificación de la carne en canal se realiza en varios estados de la República por medios manuales, tediosos e imprácticos. La evaluación es efectuada típicamente por comités estatales de la carne. Dada la dificultad para estimar pre-

cisamente la calidad de la carne por estos medios, los productores constantemente logran, mediante presión, alterar el juicio del evaluador. El resultado es un proceso poco confiable y sin validez internacional.

El uso de un dispositivo electrónico para clasificación de la carne provee al proceso no sólo de mucha mayor precisión y rapidez en la evaluación, sino además dificulta que se altere la calificación de la canal.

Más allá de la pertinencia, la clasificación de la carne en Sonora, Baja California, Sinaloa y Nuevo León es de carácter obligatorio. Dicha obligatoriedad está establecida en Sonora por la Ley de Ganadería para el Estado de Sonora, publicada en el Boletín Oficial en noviembre de 2005, Título Tercero, Capítulo I, Sección I.

► **Objetivo general**

Desarrollar un dispositivo electrónico para clasificar de manera precisa y rápida la carne de bovinos en canal. El dispositivo debe demostrar la confiabilidad y compatibilidad de operación en plantas de sacrificio bajo la norma mexicana para clasificación de carne de bovinos en canal NMX-FF-078-SCFI-2002.

Se busca actualmente la certificación en Estados Unidos de la confiabilidad del dispositivo.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

El desarrollo del proyecto puede desglosarse en varias fases:

1. Definición de requerimientos técnicos del equipo.
2. Construcción de un prototipo rápido con imágenes de Ribeye fáciles de analizar con métodos tradicionales.
3. Conformación y capacitación del equipo técnico: ingenieros y masters en Electrónica, ingenieros mecánicos, doctor en Ciencias Ópticas y Ciencias de la Computación.
4. Desarrollo de algoritmos matemáticos para:
 - a. Identificación automática del músculo principal *–longissimus dorsi*. Este paso es por mucho el más complejo, pues este músculo está cerca de otros, separado sólo por líneas de grasa intermuscular. Se requirió explorar más de 30 enfoques o algoritmos matemáticos diferentes, publicados en la literatura, principalmente en el área de imágenes médicas. El resultado fue la creación de nuevos algoritmos que integraron un poco de todos, para dar lugar a un enfoque que nos permite hoy día la clasificación de 100% de las canales. Ningún otro dispositivo en el mercado puede hacer esto.

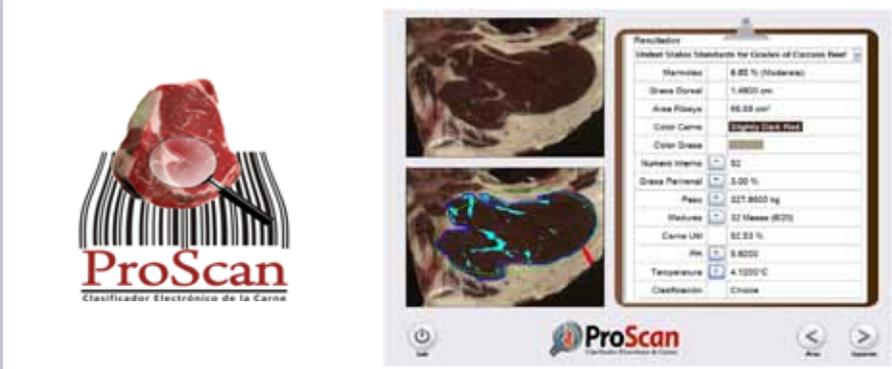
Figura 7. Fluorescencia diferencial



Figura 8. Equipo instalado



Figura 9. Reporte típico del Clasificador Electrónico de Carne de Bovinos en Canal



- b. Modelación del perímetro del músculo para ajustar la elipse más parecida a su contorno. A partir de ahí se identifican puntos de la elipse para medir el espesor de la grasa dorsal.
5. Eliminación de brillo o reflejos especulares que producen un fenómeno conocido como pseudo marmoleo. Esto se realizó principalmente por elementos ópticos de *hardware*.
6. Diseño de un sistema de iluminación uniforme con el uso de diodos led blancos de alta potencia y elementos dispersores de luz. Ajuste de blancos y uniformidad de iluminación con el uso de tarjetas patrón disponibles comercialmente.
7. Desarrollo de estructura mecánica para la "pistola" de captura de imágenes.
8. Calibración dimensional con tarjetas comerciales.
9. Calibración de marmoleo con tarjetas comerciales para clasificación de carne de bovinos en Estados Unidos.

10. Desarrollo de un método por fluorescencia diferencial para aumentar la capacidad de identificación de cartílagos y estimar, así, el grado de osificación y, por tanto, la madurez ósea de la canal (Figura 7).
11. Desarrollo de un método de perfilometría 3D para analizar los parámetros de conformación de la canal.

Productos entregados

Actualmente contamos con:

- 1 dispositivo para clasificación electrónica de carne de bovinos en canal validado en dos plantas de sacrificio y/o corte y deshuese de Sonora, en más de 2,500 canales.
- 3 patentes en trámite, dos de ellas en fase internacional o PCT.

Equipo instalado en una planta de corte y deshuese en Sonora.

Reporte típico del Clasificador Electrónico de Carne de Bovinos en Canal

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

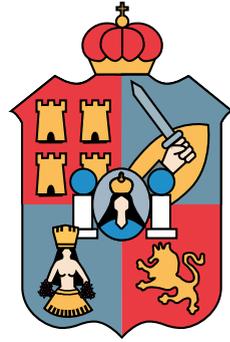
CIDIA está por cerrar la venta del primer clasificador de carne y está buscando alternativas de financiamiento para entrar en fase de producción y comercialización.

Hemos establecido contacto con el equipo de inspectores de la carne en Estados Unidos para validar nuestro aparato, lo cual nos abrirá mercado no sólo en México sino en Estados Unidos también.

Estamos explorando la posibilidad de vender la tecnología y patentes a empresas que se dedican a esto y tienen presencia y canales de distribución en mercados internacionales. De igual manera estamos analizando la prudencia de incubar una empresa que se dedique de manera exclusiva a este negocio.

Increíblemente las habilidades adquiridas por el equipo técnico en procesamiento de imágenes han creado capacidades para incursionar en campos como el desarrollo de tutores virtuales para la educación. En ambos casos se requieren habilidades en minería de datos y algoritmos de clusterización; en el primero de píxeles y en el segundo caso de estudiantes.





TABASCO

ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS TECNOLÓGICAS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL CACAO AL CHOCOLATE¹

Ana Beatriz Parizot Wolter,² Miguel Alejandro Campos Beltrán³
y Josafat Hernández Becerra⁴

► Introducción

El problema principal que este proyecto se enfocó a resolver fue el de la falta de competitividad de una pequeña fábrica de chocolates con procesos productivos artesanales lentos y de alto costo, debido al bajo desarrollo tecnológico. El proyecto se orientó a rediseñar y mejorar dichos procesos, con la finalidad de lograr un incremento significativo en los niveles de competitividad de la planta. Para ello, se llevaron a cabo en una primera etapa los estudios técnicos, de mercado y *benchmarking*, necesarios para sustentar las propuestas de cambio y desarrollar un plan de mejora productiva. Durante la segunda y última etapa, se trabajó en la implantación de los cambios propuestos, a partir de una reingeniería de la planta; por un lado, se adaptó la infraestructura de acuerdo con las nuevas necesidades de las líneas de producción, no sólo en los aspectos técnicos, sino de cumplimiento de las normas de sanidad, y por otro, se diseñó, construyó, adaptó y adquirió la maquinaria y herramientas necesarias para montar líneas de producción funcionales y semiautomatizadas, que permitieran cumplir con los objetivos propuestos.

¹ Proyecto FOMIX: TAB-2004-C02-40

Monto aprobado: \$900,000.00

Aportaciones concurrentes: \$900,000.00

Monto Total: \$1,800,000.00

² De Chocolates “Wolter” de Comalcalco, Tabasco.

³ Responsable Técnico del Proyecto.

⁴ Asesor del Proyecto de la Universidad Tecnológica de Tabasco.



Desde la primera etapa se contó con la asesoría de especialistas en análisis de mercado, diseños de plantas, ingenieros industriales y el apoyo de tres becarias del área de Ingeniería en Alimentos, del Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, quienes se enfocaron a realizar un diagnóstico y análisis para desarrollar propuestas paralelas que aseguraran que las mejoras a implementar dieran cumplimiento desde el inicio a las normas de sanidad, buenas prácticas de higiene y manufactura. Asimismo, trabajaron como parte del grupo en la sensibilización de los empleados hacia los cambios, e hicieron sus propias propuestas de mejora en los procesos.

Con los cambios implantados, se lograron las metas originalmente propuestas. En principio, se redujo el tiempo de proceso para los chocolates de mesa y en polvo, y se aumentó la capacidad instalada. Al mismo tiempo, se consiguió mejorar la calidad del producto, a través de la nueva maquinaria que minimiza el uso de las manos, y los tiempos y movimientos para pasar el producto en elaboración de una parte del proceso a otra; esto hace que se tenga menos riesgo de contaminación y un mejor manejo. Por otro lado, las adaptaciones en infraestructura permitieron el montaje de líneas de producción con una mejor distribución y mayor amplitud, lo que al mismo tiempo ayudó a delimitar espacios con una función definida en cada etapa del proceso. En síntesis, logrando una mejor calidad en el producto, una mayor capacidad instalada, una planta más funcional y equipada y menores tiempos de producción, se logra definitivamente el objetivo principal del proyecto: una mejora sustancial en el proceso del cacao al chocolate y, por lo tanto, mayor competitividad para nuestra fábrica.

Por supuesto, el desarrollo tecnológico logrado al diseñar algunas de las máquinas claves del proceso y adaptar otras, así como la mejora en el proceso, puede resultar muy útil para transferir el conocimiento en un estado como el nuestro, en el que el chocolate es una tradición.

Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Dado que el cacao es un producto ampliamente cosechado y utilizado a nivel estatal y municipal, los resultados sirven a diversos sectores. Las universidades con esquemas de vinculación con las empresas y con laboratorios experimentales para el desarrollo de nuevos productos o servicios empresariales podrían ser usuarios potenciales muy interesantes. Se pueden atender incluso servicios de asesoría especializada y nuevas propuestas de investigación y desarrollo con base en los resultados de este proyecto, tanto en el sector público como en el privado. Algunas de las máquinas se desarrollaron a nivel local y son relativamente económicas y sencillas de manejar, lo que puede servir incluso para montar una planta piloto en estas instituciones, que permitiera prestar servicios a las micro y pequeñas empresas locales y regionales del ramo chocolatero.

Por otro lado, las mejoras implantadas nos han dado una mayor capacidad de respuesta para atender a nuestros clientes actuales y potenciales. Al aumentar la capacidad instalada de la planta en un promedio de 200%, estamos en condiciones de surtir a más mercados en los volúmenes necesarios y con la rapidez que se requiere. Hasta antes de implantar las mejoras, nuestra empresa no tenía capacidad para manejar inventarios de producto terminado, ya que lo que fabricábamos hoy, ya estaba vendido ayer, por lo que nuestra capacidad de respuesta hacia los clientes era muy reducida, y eso nos llevaba a perder oportunidades de negocios. Con la reingeniería que nos permitió este proyecto, no sólo tenemos fuertes expectativas de crecimiento, sino que nuestro mercado se ha beneficiado con un producto de mejor calidad. Por otro lado, al aumentar la capacidad de la planta, hemos aumentado también la cantidad de materias primas que procesamos, lo que significa que actualmente consumimos más cantidades de cacao a los productores, y con ello hemos generado un beneficio adicional en este sector.

Por otro lado, nuestra empresa ha tenido un crecimiento importante, promediando 40% en los últimos cinco años, sólo en Tabasco; esto se ha dado en gran medida gracias a la expansión de las grandes cadenas comerciales a las cuales surtimos. Sin embargo, no habíamos tenido hasta ahora la capacidad para aprovechar este crecimiento a nivel regional. Con los cambios logrados gracias al proyecto, hemos llevado ese nivel de crecimiento a otros mercados y, al reducir los costos fijos por las mejoras tecnológicas alcanzadas, logramos aumentar los márgenes de utilidad. Gracias a ello hemos podido aprovechar una oportunidad de exportación indirecta a la Unión Europea de un producto más fino, que no hubiéramos podido desarrollar de no haber contado con la maquinaria y mejora en nuestros procesos.

► Objetivo general

En la primera etapa, el objetivo fue proponer mejoras en los procesos productivos que permitieran lograr un incremento significativo en la competitividad de la empresa. Dicha meta no sólo se logró al obtener un estudio técnico, sino que se enriqueció en buena medida con los estudios comparativos (*benchmarking*) y de mercado, ya que éstos permitieron enfocar los esfuerzos hacia los clientes y las nuevas tendencias del sector, lo que nos ayudará a ser más competitivos no sólo tecnológicamente hablando, sino en función de una proyección de mercado. Asimismo, dichos documentos contienen información muy importante para el desarrollo de nuevos productos y mejoras en la imagen de los que ya tenemos, lo que representa áreas de oportunidad ya definidas para los planes del próximo año.

En la segunda y última etapa, el objetivo principal fue la implantación de los planes de mejora que permitieran tener una infraestructura y procesos funcionales, con la maqui-

naria acorde a las necesidades del proyecto. Dicha meta se logró diseñando, construyendo, adaptando y adquiriendo las máquinas y el equipo necesarios para implantar un sistema de producción con líneas semiautomatizadas, que permitieron mejoras significativas en ahorro de tiempos y movimientos, y aumento sustancial en la capacidad instalada. Asimismo, se logró reducir la intervención de las manos en varios pasos del proceso y establecer un mejor control de calidad de los productos. Dichos logros resultan de gran ayuda no sólo desde el punto de vista del aumento en la competitividad, sino en la mejora misma de las fórmulas y manejo higiénico de los productos; todo esto con el apoyo de los estudiantes que ayudaron en el desarrollo e implementación de las mejoras.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

Para fines de explicar los avances y cambios en este proceso de producción a raíz del presente proyecto, lo resumiré en los siguientes pasos, explicando la maquinaria que se utilizaba hasta antes de la implantación de las mejoras.

Maquinaria que se utilizaba hasta antes de la implantación de las mejoras	
Pasos	Maquinaria utilizada (fecha de adquisición)
1. Corte, quiebre, fermentado, lavado y secado del cacao	Se hace manualmente
2. Tostado	Tostador de 50 kg. a base de gas (1980)
3. Descascarillado	Descascarilladora continua (2003)
4. Molienda	Molino de piedras continuo (1958)
5. Refinamiento	Refinadora continua de 3 rodillos (1958)
6. Mezclado	“Concha” mezcladora de 90 kilos (1958)
7. Moldeado	Se hace a mano con espátulas en moldes de resina con 2 tablillas c/u (1965)
8. Golpeo de moldes	Se hace manualmente
9. Enfriamiento	Cámara de refrigeración con anaqueles de madera y lámina (1970)
10. Desmoldeado y empaçado	Se hace manualmente

A raíz de los estudios técnicos que se hicieron en la primera etapa del presente proyecto, se encontraron muchas oportunidades de mejora tanto en los procesos, como en la maquinaria que se utilizaba. Como primer punto, se definió que una de las principales deficiencias era la colocación misma de la maquinaria, que no se encontraba en línea, sino en diversos puntos de la planta. Por otro lado, en un proceso que debería ser continuo para optimizar tiempos y movimientos, tanto la primera máquina (tostador)

como la última (“concha” mezcladora) representaban problemas en el proceso, por su capacidad y el tiempo de procesamiento. También se definió que existían pasos que podían ser eliminados (o agrupados) para disminuir los tiempos, que era uno de los principales objetivos del presente proyecto. Para lograr todo esto, se buscó la asesoría de ingenieros industriales y técnicos que junto con el equipo de trabajo, definieron el proceso de la siguiente manera:

Cambios implementados por el proyecto en el chocolate de mesa	
Pasos	Cambios implementados
1. Corte, quiebre, fermentado, lavado y secado del cacao	Se hace manualmente (estos pasos no pueden variarse)
2. Tostado	Tostador de 120 kg. a base de gas (Diseño especial por patentar)
3. Descascarillado	La misma descascarilladora continúa
4. Molienda	Se decidió agrupar estos tres pasos en uno solo, ya que la máquina que se consiguió es capaz de moler tan fino el grano, que no necesita refinarse, y una vez hecha la pasta es posible usar la misma máquina para integrar los demás ingredientes, porque las piedras del nuevo molino al mismo tiempo pueden refinar el azúcar, logrando un chocolate más fino y de mejor calidad. (Molino chileno de 200 kg.)
5. Refinamiento	
6. Mezclado	
7. Moldeado	Máquina de acero inoxidable, dosificadora de gel, mermeladas y cremas (adaptada a la viscosidad del chocolate) en moldes de policarbonato de calidad alimenticia de 8 tablillas c/u (diseño especial).
8. Golpeo de moldes	Vibradora de moldes (diseño especial por patentar)
9. Enfriamiento	Cámara de refrigeración diseñada especialmente para los tiempos, espacio interior, temperatura y velocidad de moldeo, con anaqueles de acero inoxidable también diseñados especialmente de acuerdo al tipo de moldes y capacidad de carga
10. Desmoldeado y empaçado	Se seguirá haciendo manualmente

En el caso de los chocolates en polvo, el proceso es un poco más sencillo, pero no por ello menos problemático por la forma en que se lleva a cabo y la utilización de las manos en partes críticas del proceso.

Proceso actual del chocolate en polvo	
Pasos	Maquinaria utilizada
1. Pesado de los ingredientes (polvos y granos)	Se hace manualmente
2. Integración previa de los ingredientes	Se revuelven a mano en tinas de plástico con espátulas y cucharonas
3. Molienda	Los polvos y granos integrados manualmente se pasan por un molino (Molino de martillos de 5 caballos, 1960)
4. Envasado	El chocolate en polvo se envasa en bolsas de polietileno o latas de cartón, pesándolas y sellándolas manualmente (balanzas, selladora de polietileno y engargoladora manual, 2002)
5. Etiquetado	A las bolsas de polietileno se les coloca una etiqueta con la fecha de caducidad y número de lote, y a las latas se les pega manualmente la etiqueta con todos los datos (pistola etiquetadora manual, 2004)

Mediante los cambios implementados por el presente proyecto, se logró lo siguiente:

Cambios implantados por el proyecto en chocolate en polvo	
Pasos	Cambios implementados
1. Pesado de los ingredientes (polvos y granos)	Se sigue haciendo manualmente.
2. Integración previa de los ingredientes	Se integran con mayor precisión y sin el uso de las manos en una máquina revoladora de polvos de 100 kg.
3. Molienda	La revoladora está colocada en línea sobre un molino continuo de martillos de 10 caballos, lo que permite usar la gravedad para pasar el producto de una máquina a otra.
4. Envasado	El chocolate en polvo sale del molino a través de un gusano transportador que lo conduce hacia la envasadora semiautomática, mediante la cual se llenan las bolsas y latas, que son selladas con las mismas selladoras y engargoladoras.
5. Etiquetado	Una vez cerradas las bolsas y latas, son conducidas a través de una banda transportadora para la colocación de fecha de caducidad y lote con una máquina <i>hot stamping</i> , que permite llevar un mayor control de rastreabilidad y, por lo tanto, de calidad de cada lote.

Con estos cambios y ajustes no sólo se ahorró un tiempo considerable en el proceso de fabricación de los chocolates, sino que al mismo tiempo se aumentó la calidad de los productos al disminuir el uso de las manos, aumentar la rastreabilidad de los ingredientes del producto terminado y lograr establecer mejores controles. En el caso del chocolate de mesa se disminuyó el tiempo de proceso de dos días a un solo turno, aumentando al mismo tiempo la capacidad instalada en 200%. Para los polvos, no sólo se aumentó la capacidad instalada, sino que al reducir el uso de las manos en puntos críticos y colocar la maquinaria en línea, se aumentó la capacidad de producción en 300%. Todo esto aunado a las mejoras en la calidad de los procesos y productos, así como el cumplimiento de normas, aumenta en buena medida la competitividad de la fábrica. Al cumplir con estos objetivos, se cubren claramente las metas del proyecto propuesto para implantar mejoras en los procesos de producción del cacao al chocolate.

► Productos entregados

Durante el desarrollo de la primera etapa se obtuvieron tres documentos: un estudio técnico, un estudio comparativo *benchmarking* y un estudio de mercado, mismos que sirvieron de base para el desarrollo de la siguiente etapa. Durante la segunda y última etapa se fueron implementando las propuestas de mejora contenidas en dichos estudios y se materializaron en las adaptaciones de la infraestructura y en el diseño y construcción de tres máquinas (tostador de cacao, molino micronizador de polvos y vibradora de moldes), mismas que solucionaron problemas específicos de diversas etapas de los procesos. Asimismo, las otras máquinas localizadas, adquiridas y adaptadas al proceso (revolvedora de polvos, dosificadora de gel y gusano transportador) resultaron de mucha utilidad para agilizar los tiempos y movimientos, y ayudar en la inocuidad de los productos. Igualmente, en el caso de las mejoras implementadas en etapas clave de los procesos, como el caso de la etapa de endurecimiento de las tablillas en la cámara de refrigeración y su equipamiento, que permitieron disminuir considerablemente los tiempos en esta etapa del proceso y mejorar la apariencia y calidad de los chocolates. Para esta etapa, un especialista en acero inoxidable diseñó un sistema de rejillas especial para los moldes y los pesos de los productos, tomando en consideración las dimensiones, velocidad, simplicidad de manejo y capacidad de carga. A partir de dichas rejillas, diseñó asimismo un sistema de desplazamiento que permite hacer más cómodo y rápido el sistema de enfriamiento.

Vale la pena mencionar que nosotros somos una microempresa, por lo que las máquinas fueron diseñadas y construidas para aumentar la capacidad instalada y la velocidad de procesos, pero de manera que el cambio fuera sostenible para la empresa. Es decir, una maquinaria muy sofisticada, de grandes dimensiones y automatizada hubiera sido un cambio demasiado drástico, seguramente insostenible para la capacidad financiera y de

mercado de nuestra empresa. Por lo tanto, usando la creatividad y la habilidad de los expertos, los productos obtenidos de este proyecto resultan más cercanos y accesibles a empresas de nuestro tipo, y nos ha permitido aumentar la competitividad, sin poner en riesgo la viabilidad del negocio.

Conclusiones y/o beneficios obtenidos

Existen muchos proyectos en los que los documentos generados se convierten en parte de la literatura, pero no existen las condiciones económicas o el compromiso para llevarlos a la realidad; uno de los resultados más satisfactorios de esta investigación ha sido precisamente que los cambios están ya implantados y a la vista de todos. Como usuarios, esto nos ha permitido tener beneficios en forma rápida y poder iniciar nuevos proyectos y programas a partir de los avances tecnológicos con los que ya contamos.

Por supuesto, estamos conscientes que todos estos logros se limitan a un primer paso para la empresa, ya que las mejoras tecnológicas, los controles y la modernización deben ser una constante en el desarrollo de nuestras actividades y en el establecimiento de planes a corto, mediano y largo plazos. Todo esto sólo se logra con la supervisión continua, la estandarización de los procesos, la sensibilización y capacitación del personal y la actualización constante de los niveles altos, para que los logros alcanzados con este proyecto no sólo se mantengan sino que verdaderamente permitan un mejor aprovechamiento para la empresa en beneficio de nuestros clientes, nuestros empleados, nuestro entorno y nuestra propia permanencia en el mercado.





TAMAULIPAS

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE APLICACIONES EN ACEROS DE ALTA RESISTENCIA¹

Augusto Carlos Mendoza Pérez,² Guadalupe García Sánchez, Raymundo Deras Pineda, Fernando Loera Berlanga, Humberto Hernández Vázquez, Jorge Segura Moreno, Víctor Manuel García Sánchez, Francisco Montes Rosales y Agapito González García

► Introducción

En el mundo actual se está avanzando a pasos agigantados en la investigación y creación de aceros para la producción de partes con requerimientos de usos muy específicos.

Esto nos da la oportunidad de conocer los principios básicos y utilizar aceros con propiedades de alta resistencia y, a la vez, proporcionar una capacidad de formabilidad óptima, representando ello una ventaja competitiva para nuestra empresa en el desarrollo de nuevos proyectos.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Utilizar aceros de alta resistencia para reducir peso de las partes, sin disminuir resistencia estructural.

¹ Proyecto FOMIX: TAMPS-2006-C12-52332

Monto aportado: \$1,500,000.00

Aportaciones concurrentes: \$1,500,000.00

Monto total: \$3,000,000.00

² Industrias Gobar, S de RL de CV, de Matamoros, Tamps.

► Objetivo general

- Elevar el nivel de conocimientos de nuestros ingenieros de diseño, automatización de procesos y medición y pruebas.
- Obtener un producto que cumpla con niveles de Seis Sigma.
- Construir un laboratorio de metrología con equipo de medición para experimentación.
- Desarrollar una estación de inspección automatizada, apoyada por cámaras de visión.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

- Se utilizó acero de alta resistencia incorporando procesos de simulación para la fabricación de partes automotrices, a través de procesos de troquelados metálicos.
- Se redujo el peso de los materiales sin disminuir la resistencia estructural de los mismos, reduciendo el costo de los productos, razón por la cual aminoró el impacto en el incremento del acero.
- Se utilizó *software* de apoyo realizando virtualmente la fabricación de los herramientas, asegurando así la calidad del producto, ya que de esta forma se evitan accidentes en el proceso, se reducen costos y tiempos de desarrollo, proveyendo los parámetros óptimos.





► Productos entregados

- Se efectuó un entrenamiento interno en las instalaciones de la Universidad Corporativa GOBAR.
- Se participó en exposiciones y seminarios en la ciudad de Chicago, Illinois, USA, promovidos por la Asociación de Formadores Metálicos de Precisión.
- En el caso de los equipos de trabajo adquiridos, se localizaron en las instalaciones de Industrias GOBAR para su utilización por los diseñadores. En el caso de la *laptop*, es un instrumento portátil para programación y pruebas de automatización en campo.
- Se construyó un laboratorio de metrología con mobiliario, así como equipo de medición para experimentación marca Wenzel.
- Se construyó una Estación de Inspección Automatizada, apoyada por cámaras de visión.

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

- 5 operadores trabajando directamente en el proceso.
- 4 diseñadores con capacidad para realizar simulación de procesos virtuales de estampados metálicos.



- 3 ingenieros de calidad con capacidad para realizar estudios estadísticos apoyados por *software* tridimensional y con capacidad de llevar a cabo ingeniería inversa en un moderno laboratorio de metrología.
- Un producto final para nuestro cliente con una reducción de 20% en el costo del material de la parte.
- Realización de un producto que colabora con 20% de reducción de peso en su ensamble final, con el consecuente ahorro de energía y reducción de contaminación.
- Gracias al servicio y respuestas de este tipo, nuestra empresa logra colocarse entre los proveedores preferidos de nuestro cliente, asegurando su participación en los proyectos futuros, así como el sostenimiento de las demás fuentes de trabajo de la compañía en los años por venir.



DESARROLLO DE MÓDULO DE ALIMENTACIÓN Y MÓDULO DE ENFRIAMIENTO INTELIGENTES PARA LÁSER DE ND:YAG DE ALTA POTENCIA CON RÉGIMEN DE EXPLOTACIÓN INDUSTRIAL¹

Ing. Ernesto Solís Castro;² Dr. Miguel Ángel Arronte García;³ Dr. Luis Vidal Ponce Cabrera y M.C. Teresa Flores Reyes;⁴ Ing. Roberto Narro García, Ing. Milton Carlos González Sánchez y M.C. Adrián Fermín Peña Delgado⁵

Resumen

En este proyecto se ha desarrollado el diseño y construcción de un sistema de enfriamiento modular para láser de estado sólido de alta potencia, así como la creación y puesta a punto de la infraestructura necesaria para la producción de series pequeñas. El desarrollo del nuevo sistema de enfriamiento comprende algunas innovaciones en cuanto al diseño altamente compacto, autonomía y fácil integración a otros sistemas inteligentes. Este desarrollo se ha acompañado de una investigación para la optimización del flujo refrigerante en torno al medio activo láser, a partir de modificaciones de la cavidad de bombeo o excitación del láser. En el marco de esta propuesta, la empresa proponente ha creado y puesto a punto toda una nueva infraestructura para la fabri-



¹ Proyecto FOMIX: TAMPS-2006-C12-51988, Monto aprobado: \$895,000.00, Aportaciones concurrentes: \$906,800.00, Monto total: \$1,801,800.00

² Responsable administrativo, CICATA Unidad Altamira, IPN.

³ Responsable técnico del Proyecto, CICATA Unidad Altamira, IPN.

⁴ Investigadores.

⁵ Estudiantes que participaron en el Proyecto.

cación y montaje en serie de este sistema de enfriamiento, así como la creación de un laboratorio para pruebas y puesta a punto además de un constante mejoramiento en el diseño y prestaciones del mismo. Por otro lado, la creación de este sistema de enfriamiento y de las condiciones para su fabricación, e incluso para la realización de investigaciones para el mejoramiento del mismo, pondrá a la empresa HYTECK FLUID POWER de Tampico, Tamps., en una posición altamente competitiva ante la apertura del mercado de los láseres industriales, no sólo en la región de Tamaulipas sino en toda la República Mexicana, a partir de los nuevos desarrollos de máquinas láser para el desespinado de nopal y la limpieza de superficies metálicas. Es importante destacar que este proyecto se incluye dentro de una serie de trabajos relacionados con la introducción de diferentes productos de tecnología láser en la industria local del sur de Tamaulipas y nacional. A este proyecto le preceden, por ejemplo, los proyectos Desarrollo de una Desespinaadora Fotónica de Nopal Verdura (fondo PYME, concluido) y el proyecto Desarrollo del Prototipo de un Láser de Limpieza de Alta Eficiencia (CONACYT, en curso). Por otro lado, en breve se presentará una propuesta al fondo sectorial de economía por parte de la empresa HYPERLASER (HIPERLAZER TECHNOLOGIES, SA de CV) donde se prevé la construcción de varias máquinas láser desespinaadoras de nopal verdura, así como la creación de una fábrica para el montaje de series medianas tanto de desespinaadoras láser como de equipos láser para la limpieza de superficies.

► Introducción

Desde los primeros trabajos de Asmus,⁶ la limpieza de superficies con láser mostró importantes ventajas sobre las técnicas convencionales de remoción de contaminantes. Entre ellas podemos mencionar la preservación del relieve superficial del sustrato, la eliminación de reactivos químicos y medios abrasivos con sus consecuencias a largo plazo, la disminución de la carga contaminante y el consumo energético, y finalmente la calidad y precisión del método.⁷

En los trabajos desarrollados durante estos años, se demostró la conveniencia del empleo de pulsos muy cortos e intensos, que permiten la remoción de contaminantes mediante mecanismos de ablación bien establecidos. El láser de Nd:YAG, en régimen de Q:Switch, se consolidó como el más utilizado por la elevada potencia y corta duración de los pulsos.⁸

⁶ Asmus J. F., *Int. Science Review*, V12, 171-210, 1987.

⁷ Watkins K. G., *Proc. NATO ASI laser processing: Surface and Film Deposition*, Sesimbra, Portugal, July 3-16, 1994.

⁸ *Ibidem*.

Aspectos negativos, que durante un número de años limitaron la extensión de las aplicaciones, fueron la baja productividad y el elevado costo de los equipos. Por esos motivos, hasta fecha muy reciente el uso comercial se redujo a la limpieza de obras de arte, donde por razones obvias se justificaba utilizar una técnica costosa y de baja productividad.

Recientemente, con la aparición de equipos de mayor potencia, fueron viables comercialmente las aplicaciones industriales.⁹ Comenzó una rápida expansión en áreas como la limpieza de moldes, reactores, partes automotrices, dispositivos electrónicos y otras de carácter muy específico donde la preservación del relieve era un factor crucial. Algunas empresas comercializan equipos de uso específico con una productividad que permite la aplicación a escala comercial. Sin embargo, el costo de los equipos sigue siendo muy elevado, lo cual limita seriamente el campo de aplicaciones que podrían alcanzarse.

Actualmente, los fabricantes de máquinas de limpieza láser utilizan láseres de uso general. Esto significa que las fuentes de emisión láser que se utilizan son equipos desarrollados con un perfil amplio por fabricantes de láseres. Para las máquinas de limpieza, hasta el momento sólo se han utilizado equipos que operan en régimen de Q:Switch, que entregan pulsos cortos con duraciones de entre 5 y 30 nanosegundos y energía entre 300 y 900mJ, o sea, potencia de pulso (de algunos megawatts) suficiente para conseguir la remoción de virtualmente cualquier material por ablación.

En general el criterio más utilizado para la remoción de capas contaminantes con este tipo de pulsos establece que, a mayor espesor de la capa contaminante, mayor energía o simplemente mayor número de pulsos. Algunos trabajos han mostrado que, en efecto, la ablación de los contaminantes puede ocurrir por la acción directa del pulso láser (a bajas energías de pulso) o asistida por la acción de la pluma generada a altas presiones y temperaturas (a altas energías de pulso).¹⁰

Un enfoque diferente del proceso de interacción ha sido propuesto en trabajos recientes.¹¹ La duración del pulso láser se muestra como un parámetro crucial en la interacción. Si construyéramos una gráfica de la densidad de energía umbral para remover un espesor

⁹ Kochan, A., *Industrial Robot*, V28, 2, 112-13, 2001.

¹⁰ Lu Y. F., Song W. D., Lukyanchuk B. S., Hong M. H., Zheng W.Y., "Laser-Solid Interactions for Materials Processing", Symposium (Materials Research Society Symposium Proceedings Vol.617). *Mater. Res. Soc.* 2000, pp. J1.4.1-12. Warrendale, PA, USA

¹¹ Arronte M, Neves P, Vilar R, Lazaro y L S. "Modelling of laser cleaning of metallic particles on silicon substrates". *2003 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe (CLEO/Europe 2003)* (IEEE Cat. No.03TH8666). IEEE. 2003, pp. 561. Piscataway, NJ, USA.

dado de material contaminante vs. duración del pulso láser, encontraríamos un mínimo para la duración del pulso adecuada para la remoción de este espesor. En otras palabras, podríamos decir que se trata de una interacción “resonante” entre el estímulo del pulso láser y el oscilador que sería la capa contaminante, con una masa proporcional a su espesor y densidad, y una constante elástica proporcional a la densidad de energía umbral para la ablación. O sea, no necesariamente para eliminar un mayor espesor de contaminante basta con elevar la densidad de energía para conseguir una remoción eficiente; la ablación se hace más eficiente para pulsos mejor “acoplados” al sistema por su duración temporal y “velocidad” o razón de entrega de energía.

Esto implica la necesidad de desarrollar un sistema láser con ancho de pulso variable en un rango amplio de duraciones de pulso, sistema inexistente en el mercado.

La presentación de este problema viene acompañada del desarrollo de un sistema de enfriamiento que permita el diseño de sistemas compactos, portátiles y de amplio rango de temperatura ambiente de operación. La totalidad de los sistemas láser comerciales requiere del suministro de una fuente refrigerada de agua con un estrecho rango de temperaturas.

Parte del reto en este proyecto es que el prototipo de sistema de enfriamiento es fácilmente integrable en un equipo láser portátil de dimensiones y peso razonablemente pequeños.

En este trabajo, además del diseño del prototipo de sistema de enfriamiento con la solución para permitir su operación en un amplio rango de temperaturas, se presentan algunos detalles del diseño de las fuentes de alimentación para láser empleadas, así como el diseño de una cavidad de bombeo que maximiza el flujo laminar en el medio activo y la densidad de potencia de excitación, y minimizando efectos como la solarización del medio activo de Nd:YAG y la autodesexcitación (en inglés *self depumping*).

► Descripción del desarrollo del proyecto

Fuente de alimentación de bombeo

En los láseres de pulso a estado sólido, la emisión láser se logra efectuando la descarga de la energía almacenada en el Capacitor Láser (*cap laser*) en la Lámpara Flash (*lamp flash*) de Xenón, cuyo destello excita el medio activo (barra de Nd:YAG) y produce la emisión del pulso láser.

La carga y descarga del capacitor se realiza mediante el bloque con llave IGBT, gobernado por el bloque de control. El voltaje a que se carga el capacitor es entregado por el bloque de alimentación.

Para poder efectuar la carga y descarga del capacitor a través de la lámpara, es necesario que la impedancia de ésta sea pequeña, lo cual se logra ionizándola y estableciendo la circulación de una corriente de arco de guardia mediante los bloques de SIMMER y TRIGGER.

La fuente de alimentación se conecta a la red de corriente alterna de 220VCA, mediante un cable que sale de la parte trasera del equipo. La fuente es compacta y segura, basada en dispositivos de estado sólido de elevada calidad.

El bloque de TRIGGER es el encargado de generar pulsos de alto voltaje (15 kV) capaces de ionizar a la lámpara cuando ésta se encuentra en estado de no conducción.

El SIMMER es una fuente que le entrega a la lámpara una corriente de 100 mA para mantenerla en estado de conducción y lista para aceptar la descarga de energía almacenada en el capacitor en el momento de disparo.

De esta forma, se elimina la necesidad de generar los pulsos de alto voltaje para encender la lámpara cada vez que se desee efectuar un disparo, lo cual garantiza un aumento sustancial de la vida útil de la lámpara flash.

El *bloque de fuerza* consta de dos bloques: *converter* y *flash unit*. El primero consiste en una fuente conmutada con base en transistores MOSFET de potencia en configuración de PFC, lo que a su vez proporciona una conexión confortable y poco ruidosa a la línea de alimentación; y el segundo contiene el sistema TRIGGER o encendido de arco de guardia o SIMMER y un conjunto de llaves tipo IGBT que permiten controlar la duración de los pulsos de corriente en la lámpara del láser entre 50 y 500 microsegundos. Las características antes mencionadas unidas al sistema de control por microcontrolador proporcionan a este sistema una gran robustez y fiabilidad.

Bloque de control de la fuente del bombeo láser

Este bloque permite realizar la programación de los parámetros y el control de las funciones del equipo. Está elaborado con base en un microprocesador y permite manejar las siguientes funciones: la energía del pulso a través del voltaje del convertor, la frecuencia de los pulsos y su duración que se maneja desde las llaves IGBT.

Por otra parte, el bloque de control posee funciones de protección como controles de temperatura en la fuente y en la cavidad láser y sensor de control de flujo de agua. Finalmente, el bloque posee una entrada RS232 que permite la programación y la modificación de los parámetros desde una computadora.

Cavidad de bombeo

El corazón de cualquier láser es el medio activo que recibe energía, generalmente energía luminosa, de una fuente de luz intensa, lo que se denomina bombeo óptico. Los átomos del medio activo emiten esta energía en forma de luz coherente, es decir, ondas luminosas que están en fase tanto en el tiempo como en el espacio. Dos espejos se encargan de reflejar la luz varias veces en la cavidad óptica antes de que salga proyectada en forma de rayo láser de uno de los espejos, parcialmente reflectante, para ser utilizada de distintas maneras.

En el caso del láser de dióxido de carbono (CO_2), ampliamente utilizado todavía hoy, el medio activo se genera a partir de una descarga en efluvo en una mezcla de helio, nitrógeno y carbono. El láser de Nd:YAG, también muy común, responde a otro principio de funcionamiento: en este láser de estado sólido de primera generación, el medio activo consiste en una barra cristalina compuesta por un granate de óxido de aluminio e itrio (YAG) y dopada con neodimio. En este caso, el bombeo o excitación se realiza por medio de una fuente de luz no coherente (para el caso de altas potencias de pulso) como es una lámpara de pulsos gaseosa de xenón.

Para el diseño de la nueva cavidad se emplearon las formulaciones clásicas eliminando los términos que refieren al bombeo anisotrópico del medio activo en cavidades bombeadas por lámparas de "flash". Esta consideración conduce a diseños que generan un calentamiento anisotrópico del medio activo, provocando una emisión astigmática. El problema de la emisión astigmática debido al bombeo ha sido pobremente tratado en la literatura. Por ello, los resultados de esta investigación fueron presentados en el evento LPHYS'2007, que en 2007 tuvo lugar en León, Guanajuato (ver anexo "Participación en Congresos"). Este mismo trabajo fue enviado a la revista *Laser Physics*, ISSN: 1054-660X, el 15 de febrero de 2008.

Para la elaboración de los diseños mecánicos se han utilizado paralelamente el *software* de diseño Inventor v9 y Solid Works; con este último se realizan simulaciones del flujo de agua en la cavidad láser y es posible generar una fuente de calor con la geometría deseada. En este momento nos encontramos en la etapa de confección de las demandas o *claims* que se deberán incluir en la elaboración de una patente, que deberá ser enviada a evaluación a mediados del mes de febrero de 2008.

Sistema de enfriamiento

El trabajo de diseño ha comenzado desde la elección de la tecnología o tipo de sistema de enfriamiento a utilizar. Hoy día podemos encontrar sistemas de enfriamiento tan compactos como los sistemas de enfriamiento “termoeléctrico”; sin embargo, hasta el momento es necesario consumir tanta energía como la que se pretende disipar, en otras palabras, un watt por cada watt.

En este punto sólo quedarían los tres tipos de sistema de enfriamiento más conocidos: por intercambio con el ambiente, por intercambio líquido-líquido y por medio de un compresor de refrigeración.

En la proyección del presente trabajo se había decidido crear un sistema con base en compresor de refrigeración. Sin embargo, al enfrentar algunos resultados preliminares y al enfrentarse a la evidencia experimental, a partir de la segunda mitad del proyecto se decidió elaborar además un prototipo de tipo de intercambio con el ambiente, con la peculiaridad de establecer condiciones especiales de trabajo, mismas que se detallan más adelante.

En términos generales es necesario tener en cuenta varios aspectos para diseñar un sistema de enfriamiento para láser. Primero, es fundamental tener una idea clara de la carga térmica que representa el cabezal láser. Luego, estaría la opción del ciclo abierto

Figura 1. Vista general del cabezal láser diseñado y construido

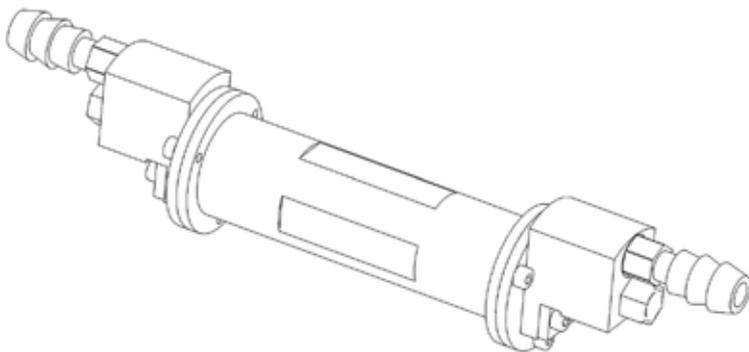


Figura 2. El prototipo de sistema de enfriamiento construido con base en compresor de refrigeración. Dimensiones 50x70x60cm, peso: 45kg, capacidad de enfriamiento: 2900 Watts. Consumo eléctrico: 5.2A, 230VAC



contra el ciclo cerrado. En este caso para láseres que van a trabajar en laboratorios o en general en un sitio sin movilidad es más factible el ciclo abierto, pero no es el caso el nuestro así que se requiere ciclo cerrado.

Si se recurre a la literatura de este tema, podremos encontrar que esencialmente, para definir si se ha de emplear un sistema de intercambio con el ambiente o un sistema refrigerado con compresor, se centra apenas la discusión en si la temperatura que se quiere está por encima o por debajo del ambiente, o si se requiere una temperatura muy estable. En relación con esto último, nos parece que se ha llegado a una aportación bastante importante: se propone el empleo de un sistema de intercambio con el ambiente con “modulación de la eficiencia”. Para esto se requiere asumir las pérdidas en volumen del sistema, puesto que se debe calcular un sistema sobredimensionado para operar en las regiones de bajas temperaturas, o sea, adecuado para trabajar en zonas de altas temperaturas (aquí nos referimos a la temperatura ambiental).

La Gráfica 1 muestra la comparación de la dinámica de establecimiento de la temperatura de trabajo en el medio activo para ambos sistemas de enfriamiento. En el eje de las abscisas, el inverso de la distancia focal de la lente térmica del medio activo. En ambos casos, el régimen de bombeo fue de 2.1 kwatts. En el caso del sistema de enfriamiento por intercambio con el ambiente, se encuentra funcionando un circuito controlador con base en un microcontrolador PIC, que realiza una rutina de control de ángulo de disparo con el flujo de los ventiladores y de la bomba; previamente, se han fijado por

hardware los parámetros o constantes de multiplicación para cada flujo, que pueden calcularse de manera relativamente simple a partir de la curva característica del intercambiador de calor empleado.

En la gráfica correspondiente al sistema de enfriamiento por intercambio con el ambiente, se puede apreciar un pico de subida de la temperatura antes de que se estabilice. El ancho de este pico se corresponde con el tiempo de respuesta del sistema de micro-control; este tiempo no depende de la velocidad de respuesta de los transductores de temperatura o del micro, este tiempo está asociado al tiempo que toma el fluido en dar una vuelta completa en el sistema.

Los detalles teóricos del control se presentarán en un trabajo de tesis de maestría en tecnología avanzada, de un estudiante del CICATA-IPN, Unidad Altamira.

Diseño general de un prototipo de equipo láser para limpieza de superficies

Los tres últimos bloques del equipo se encuentran ubicados en una caja única con dimensiones exteriores de 40 x 90 x 85cm y un peso total de 90 kg. En este mueble se dispone de espacio para ubicar el emisor portátil una vez concluido el trabajo. El equipo se desplaza sobre ruedas de manera muy fácil. Toda la estructura fue diseñada y elaborada

Gráfica 1. Comparación de la dinámica de establecimiento de la temperatura de trabajo en el medio activo para ambos sistemas de enfriamiento

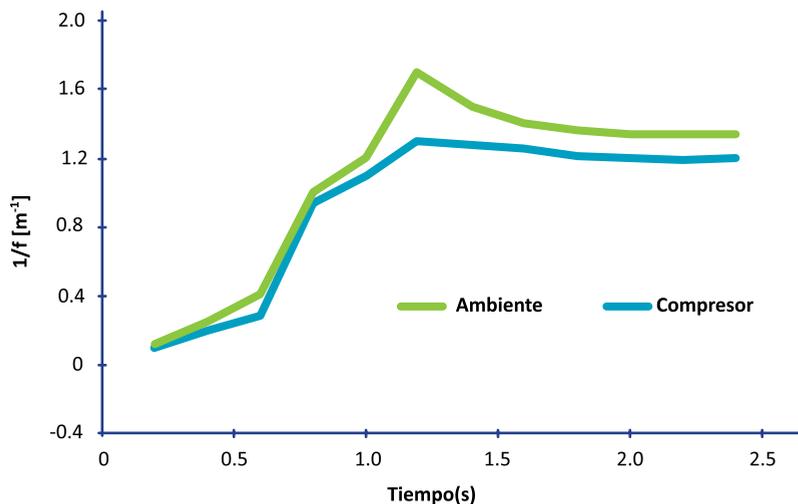


Figura 3. Vista general de un prototipo de láser de limpieza. Incluye uno de los sistemas de enfriamiento desarrollados en este proyecto



con base en un sistema de perfiles extruidos de aluminio suministrados por Bosch-Rexroth. Este sistema permite diseñar y construir equipos utilizando perfiles y módulos de conexión, lo cual minimiza las operaciones de elaboración y montaje, permitiendo un diseño ergonómico y con calidad estética y funcional a un costo relativamente bajo. Las placas exteriores del mueble fueron elaboradas de acero inoxidable, ofreciendo una terminación duradera y eliminando la necesidad de recubrimientos.

En la parte superior se encuentra el panel de mando. Para lograr la máxima simplicidad de manejo, en el panel se encuentran únicamente tres elementos de interfase con el usuario: interruptor de arranque, interruptor de apagado rápido y un conmutador manual de 5 posiciones que permite escoger el régimen de trabajo.

En la Figura 3 se muestra una fotografía general de un prototipo de un equipo con base en láser de Nd:YAG, que contiene uno de los prototipos de sistema de enfriamiento con base en intercambiador calor con el ambiente.

Caracterización de la emisión láser de un prototipo con el sistema de enfriamiento desarrollado

Una vez terminado el equipo, se procedió a una caracterización de los parámetros de emisión.

La energía de pulso fue determinada mediante un medidor de potencia *LaserPoint* con detector piro-eléctrico, mientras que la duración de pulso se midió utilizando un detector DET10C de Thorlabs conectado a un osciloscopio TDS 1010. La energía de pulso se determinó para diferentes anchos de pulso y frecuencias de disparo.

En la Gráfica 2 se observa la dependencia de la energía de pulso en función del voltaje a la salida del convertidor CA/CD, para cinco duraciones del pulso láser entre 100 y 300 μ s. La pendiente de la curva para cada duración del pulso láser no sigue un comportamiento cuadrático puesto que los pulsos de excitación no son perfectamente cuadrados y, por otro lado, el espectro de emisión de la lámpara es dependiente de la densidad de corriente en la descarga.

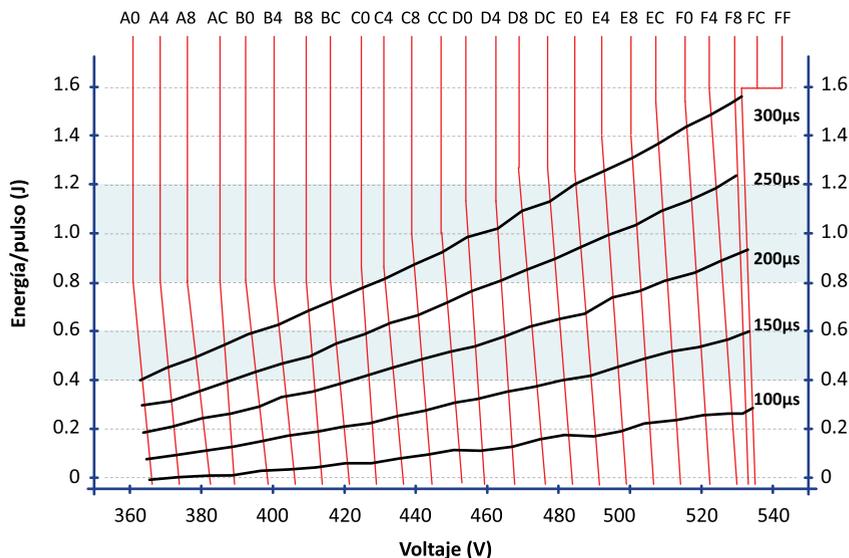
A partir de los resultados experimentales, dicha eficiencia fue calculada resultando de 2 y 2.6%, correspondiendo los valores más altos de eficiencia a voltajes por encima de 480V, lo cual corresponde con valores reportados anteriormente para equipos similares.

En la Gráfica 2, la pendiente de las curvas representadas es proporcional a la eficiencia total del sistema (teniendo en cuenta que la eficiencia de la fuente de alimentación es constante). Como se puede apreciar, la pendiente de las curvas es prácticamente constante, lo que evidencia un excelente control de la temperatura en el medio activo del láser.

En este caso, el láser desarrollado presentó los siguientes parámetros técnicos:

- Potencia del láser: Regulable hasta 75 w
- Ancho de pulso: Regulable entre 50 y 500 μs
- Frecuencia de pulsos: Regulable hasta 300 pps
- Volumen: 40 x 90 x 85 cm
- Peso: 90 kg
- Consumo eléctrico: 3 kw (máximo, incluye sistema de enfriamiento)

Gráfica 2. Dependencia de la energía de pulso respecto del voltaje para una frecuencia de los pulsos constante de 50Hz.



Conclusiones

A partir de la “modulación de la eficiencia” de un sistema de enfriamiento con base en intercambio con el ambiente y considerando que el medio activo en la cavidad láser puede hacerse operar a altas temperaturas, planteando una configuración adecuada para la corrección de la lente térmica, es posible sustituir un sistema de enfriamiento tipo *chiller*.

El uso de este tipo de sistema de intercambio representa un importante ahorro en el precio de los componentes, como el compresor y la mano de obra para la puesta a punto de cada sistema de refrigeración.

El sistema a compresor es dos veces más pesado que el sistema de enfriamiento por intercambio térmico; adicionalmente, este último representa 60% del volumen del sistema a compresor.

Aunque el desarrollo del prototipo del microcontrolador ha consumido, y aún puede consumir algunos recursos financieros para su desarrollo y perfeccionamiento, éstos son fácilmente amortizados al producir varios sistemas. La sencillez del sistema de intercambio es notablemente más económica.

Agradecimientos

Al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Tamaulipas por el apoyo e interés en el desarrollo de la ciencia y el crecimiento de las pequeñas empresas de la región.



DESARROLLO INDUSTRIAL DE PRODUCTOS ORGÁNICOS DE MANUFACTURA ARTESANAL EN LA COMUNIDAD DE FRANCISCO MEDRANO, MUNICIPIO DE TULA, TAMAULIPAS¹

Jacinto Treviño Carreón,² Virginia Vargas Tristán, Manuel de Jesús Aguirre Bortoni, Santiago Niño Maldonado y Karla Yolanda Flores Maldonado

► Introducción

La microempresa rural El Nogal de Tula, SC de RL, fue constituida el 4 de septiembre de 2002 por 12 mujeres ejidatarias o esposas de ejidatarios de la comunidad de Francisco Medrano en el municipio de Tula, Tamaulipas. Inició con la elaboración de champú de sangre de drago, sábila y nopal que se envasaba en recipientes de 950 ml. con forma cilíndrica, plástico opaco, sin etiqueta, sin marca ni código de barras. En sus inicios, la producción era realizada en forma rústica, sin contar con un sitio adecuado ni implementos propios de la organización. Los procesos de producción como molidos de materia prima, mezclado y envasado se desarrollaban en su totalidad en forma manual, invirtiendo demasiado tiempo y esfuerzo en ello. La producción se utilizaba para el consumo familiar y una ínfima cantidad se comercializaba en el mercado local. Sin embargo, debido a las altas carencias en el sector rural y lo difícil de la situación económica para salir adelante,



¹ Proyecto FOMIX: TAMPS-2006-C12-52305, Monto aprobado: \$167,000.00, Aportaciones concurrentes: \$180,000.00
Monto total: \$347,000.00

² Autor responsable. Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

durante los primeros años de existencia de la pequeña empresa, cuatro de las integrantes fundadoras se vieron en la necesidad de abandonar al grupo y emigrar a las ciudades fronterizas de Tamaulipas con toda su familia, en busca de una mejor calidad de vida. No obstante, el resto del grupo no perdió el entusiasmo ni la esperanza de salir adelante redoblando los esfuerzos en busca de apoyo económico para sacar adelante su empresa.

Debido al incremento en la demanda de los productos en los últimos años, la empresa se ha visto en la imperiosa necesidad de acelerar su proceso de producción por lo que se refiere al talco (molido de materia prima) y al envasado tanto de crema como de talco, así como a la modernización de la infraestructura que aumente los volúmenes de producción, manteniendo la calidad de los productos que exige el mercado cada vez más creciente. Sin embargo, la tecnología especializada en el molido de material vegetal seco y el envasado de polvos y líquidos de alta densidad existente en el mercado, se encontraba lejos del alcance de la empresa.

► Tipo de propuesta y demanda específica

La propuesta fue dirigida a la innovación y el desarrollo tecnológico, en donde se atendió la demanda enfocada al fortalecimiento de la industria de productos orgánicos de manufactura artesanal, a través de la aplicación de modelos de mejoramiento de sistemas de control de calidad y la tecnificación de los procesos de manufactura artesanal.

► Objetivo general

Diseñar y construir nuevas tecnologías de bajo costo, pero apropiado a las necesidades de producción de la empresa. Con base en lo anterior, los objetivos se dirigieron a la complementación del inmueble y al diseño y fabricación de los prototipos de envasadora para crema, envasadora para talco y molino para hojas de gobernadora.

► Desarrollo del proyecto

Se describen las actividades desarrolladas para cumplirlos en tiempo y forma con los objetivos planteados.

1. Acondicionamiento del inmueble
 - a. Local de 35 m². Como actividad principal para el desarrollo del proyecto, se acondicionó un pequeño local situado en el terreno de la presidenta de la microempresa, el cual cuenta con espacio suficiente para utilizarlo como taller para el diseño y pruebas de los prototipos.

- b. Construcción de fosa séptica. Necesaria para el almacenamiento de las aguas grises, resultado de los procesos de producción, en donde se almacenarán y se les dará tratamiento, buscando darle un uso como agua de riego para los árboles de los alrededores, tratando de contaminar lo menos posible (Universidad de Quintana Roo, 1999).
- c. Acondicionamiento del sistema de almacenamiento de agua. Las actividades comprendidas fueron colocar el techo, el emparejado y relleno del piso.

2. Diseño y construcción de prototipos para molido y envasado

Una vez terminada la adecuación del inmueble, se procedió a trabajar en el diseño de los prototipos para el molino de hojas de gobernadora y las envasadoras de crema y talco. Los prototipos se desarrollaron con base en el volumen de producción y características de los productos, tratando en lo mayormente posible de adaptarlos y construirlos con materiales resistentes. Los diseños se desarrollaron tomando en cuenta las necesidades de una microindustria que no produce grandes volúmenes, pero utilizando materiales del tipo acero inoxidable que permitan su durabilidad, inocuidad y uso rudo (Cuevas-Arteaga, 2006; Sánchez-Amaya *et al.*, 2009).

- a. Molino de hojas secas de gobernadora: El molino consta de una estructura metálica, la cual sostiene un recipiente con capacidad de 5 kg. de hoja de gobernadora en peso seco. La materia prima es conducida mediante un sinfín hacia una cámara en la cual se encuentran dos discos metálicos que, mediante la fricción ejercida por un motor eléctrico, trituran y pulverizan las hojas. Posteriormente, caen por gravedad a otro recipiente cerrado herméticamente, que colecta el material pulverizado. Este recipiente contiene una mirilla vertical de vidrio de dos centímetros de ancho la cual permite observar el nivel de llenado (Rodríguez-Prada y Cortés-Rocha, 2007; Rosero y Ramírez, 2009).
- b. Envasadora de crema por gravedad y presión de aire: Consiste en una mesa de trabajo elaborada con PTR, que sostiene en la parte superior un embudo de acero inoxidable, en el cual se aplica presión de aire para facilitar su flujo y acelerar el tiempo de envasado de producto. El embudo presenta una salida central de descarga la cual se bifurca con una "T" hacia los laterales de la mesa, conformando dos líneas de envasado de producto cada una con 10 cilindros, los cuales contienen el volumen exacto de un recipiente de 125 ml. Finalmente, se hace uso de dos juegos de llaves maestras: uno superior y otro inferior. El superior controla el llenado del cilindro y, el inferior, la salida del producto hacia los recipientes; de esta manera las llaves de cada juego se cierran al unísono con un solo movimiento. Las tuberías de conducción son de tubo de acero inoxidable, al igual que las llaves de llenado para los recipientes, que terminan en una punta cónica para uniformar el llenado.

Figura 1. Taller terminado en la comunidad de Francisco Medrano, Tula, Tamaulipas



Figura 2. Fosa séptica



Figura 3. Prototipo de molino de hojas de gobernadora



Figura 4. Prototipo de envasadora de crema



- c. **Invasadora eléctrica de talco por vibración:** Es una mesa de trabajo vibradora elaborada con PTR, movida por un motor de bajas revoluciones (motor vibrador). Sostiene en la parte superior un embudo de acero inoxidable el cual presenta una salida central de descarga que se bifurcará con una “T” hacia los laterales de la mesa, conformando las líneas de envasado, cada una con 10 cilindros que tienen la capacidad de envasado de un recipiente de 140 gr.; de este modo, pueden trabajar simultáneamente dos personas a ambos lados de la mesa. Los cilindros de llenado de los recipientes contienen dos juegos de llaves maestras, uno superior y uno inferior; el superior controla el llenado del cilindro y el inferior la salida del producto hacia los recipientes; así, las llaves de cada juego se cierran al unísono con un solo movimiento. Como la envasadora de crema, las tuberías de conducción son de tubo de acero inoxidable con punta cónica para uniformar el llenado.

► Productos entregados

1. Acondicionamiento del inmueble

Con base en las condiciones en las que se encontró el local al inicio del proyecto, la primera etapa se dedicó exclusivamente para la adecuación, ya que es en este sitio en donde se diseñaron, instalaron y probaron los prototipos a desarrollados (Figura 1), así como los anexos necesarios que incluyen la fosa séptica con su drenaje respectivo para las aguas de desecho y el área de cisternas (Figura 2).

2. Prototipos de molino y envasadoras

El diseño y construcción de los prototipos se desarrolló con base en materias primas de alta calidad (acero inoxidable) y con mano de obra altamente calificada.

a. Molino de hojas de gobernadora

Consiste de una estructura metálica de PTR, la cual sostiene un depósito fabricado de lámina de acero inoxidable con capacidad de 5 kg. de hoja de gobernadora en peso seco. El material a moler es conducido mediante un sinfín hacia una cámara en la cual se encuentran dos discos metálicos que, mediante la fricción ejercida por un motor eléctrico, triturarán y pulverizarán las hojas. Posteriormente, el material pulverizado cae por gravedad a un depósito inferior fabricado de lámina de acero inoxidable que contiene una mirilla vertical de vidrio de dos centímetros de diámetro para monitorear el llenado del recipiente (Figura 3).

Cabe señalar que el tiempo que les llevaba moler un kilogramo de hojas secas de gobernadora en un molino convencional, era de dos horas en promedio; sin embargo, con este molino eléctrico el tiempo se ha reducido a solamente dos minutos, además de que la operadora del molino no sufre de malestares en la garganta por efecto de los polvos en suspensión con el molino convencional, ya que la cámara de recepción de material pulverizado del prototipo sella herméticamente, impidiendo la fuga de polvos finos hacia el exterior.

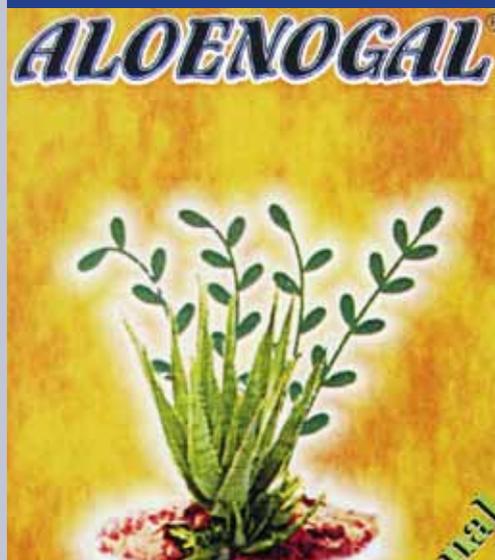
b. Envasadora de crema

Conformada por tres componentes principales, mesa-soporte de PTR de 160 x 90 cm y 183 cm de alto, en la cual se acoplan los dos depósitos de acero inoxidable de 50 l (con toma de aire de 20 PSI) que contendrán el producto a envasar, y en la porción inferior de estos depósitos se acoplan los sistemas de envasado de acero inoxidable para 20 recipientes de 125 ml. Estos tres componentes fueron elaborados con materiales de alta calidad. Por último, se ensambla cuidadosamente cada uno de los componentes, se pulen, pintan y se afinan detalles (Figura 4).

Figura 5. Prototipo de envasadora de talco



Figura 6. Imagen de los productos



Con base en las pruebas de funcionalidad, este prototipo ha logrado reducir considerablemente el tiempo de llenado de los botes de crema de 125 ml, ya que actualmente es posible llenar un total de 20 botes en el mismo tiempo que demoraban anteriormente para llenar solamente uno de manera manual.

c. Envasadora de talco

La envasadora de talco consta de tres componentes principales: una mesa-soporte de PTR con motor vibrador de 100 x 90 y 183 cm de altura, en cuya porción inferior se colocará un motor vibrador, y en la parte superior se acopla el depósito cónico de acero inoxidable de 60 l que contendrá el producto a envasar. En la porción inferior del depósito se acopla el sistema de envasado de acero inoxidable para 10 recipientes de 140 gr. Estos tres componentes fueron elaborados con materiales de alta calidad.

Por último, se ensambla cuidadosamente cada uno de los componentes arriba descritos, se pulen, se pintan y se afinan detalles (Figura 5).

Las pruebas de funcionalidad desarrolladas para este prototipo indican que, para llenar 10 botes de 140 gr., se emplean 20 minutos en promedio, a diferencia de cuando se hace manualmente y se necesitaban 2.5 hrs. para la misma cantidad de botes.

3. Instalación de prototipos

Una vez fabricados los prototipos, fueron instalados en el taller localizado en la comunidad de Francisco Medrano y se desarrollaron las pruebas de funcionalidad. Por último, se platicó con algunas de las integrantes de la microempresa, las cuales expresaron su agradecimiento por la gran ayuda brindada y por depositar la confianza en su pequeña empresa. Remarcan la importancia que tiene para ellas el brindar estos apoyos y la seguridad de que saldrán adelante en un futuro no muy lejano.

Es importante mencionar que a raíz del apoyo brindado a esta microempresa, la producción se ha incrementado en un 300% y se espera que en los años subsecuentes el incremento sea de 20% anual.

Conclusiones

Es indudable que con este proyecto se ha fomentado el desarrollo microindustrial de productos naturales y queda demostrada la viabilidad y su gran potencial económico. La elaboración de tecnología para el desarrollo de esta microindustria en la zona semiárida de Tamaulipas, abre una nueva línea económica para la región en general. Esto atraerá capitales de importancia a la comunidad, además de que con ello se demuestra que en lugares como éste, se pueden conjuntar, además de agricultura de temporal, fuentes alternativas, como la microindustria de productos orgánicos enfocados al aprovechamiento de recursos forestales no maderables.

A ocho años de haberse constituido, la empresa ha incrementado la línea de productos; ahora también se produce champú de órgano-nogal, manzanilla, neem y romero, elaborándose sus respectivos acondicionadores, también se producen crema de sábila y talco de gobernadora. Actualmente sus productos se envasan en recipientes de 400 ml. de material PET transparente de primera calidad, los cuales contienen una etiqueta a color que incluye código de barras y registro de marca, así como los datos de identificación del producto y su modo de empleo. En el ámbito de mercado, se cuenta con una cartera de clientes a nivel local, regional y nacional.

Derivado de la invitación recibida por parte de la CONAFOR, se ha participado en diversas exposiciones forestales en la Ciudad de México, Guadalajara y Morelia; por parte de la SAGARPA, en exposiciones de Empresas de Desarrollo Rural Sustentable (ENDRUS) en Ciudad Victoria, Tuxtla Gutiérrez y Mexicali; por parte del FONAES, en ferias artesanales en León, México, Acapulco, Ciudad Victoria y San Luis Potosí. Se ha ganado el premio regional por parte de la SAGARPA debido al buen manejo sustentable de la empresa, en un evento desarrollado en Ciudad Victoria, Tamaulipas, donde se contó con la presencia de productores de los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, como sede del evento.

Agradecimientos

Se agradece ampliamente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología (COTACYT) y al gobierno del Estado de Tamaulipas quienes, por medio de los Fondos Mixtos (FOMIX), apoyaron económicamente el proyecto con número FOMIX-52305 MODALIDAD B.

Literatura citada

“Aloenogal de Tula” (2009). En: www.aloenogal.com

Cuevas-Arteaga, C. (2006). “Cinéticas de corrosión del acero inoxidable SS-304 expuesto en una solución acuosa de bromuro de etilo a bajas temperaturas”, en *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 5 (1):27-45.

Rodríguez-Prada, M. A. y Cortés-Rocha, C. A. (2007). “Máquina automática de llenado y sellado de envase tipo PET para condimentos en polvo”. Tesis de Ingeniería. Bogotá, Universidad de la Salle, Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica, sede centro.

Rosero, E. y Ramírez, J. (2009). “Modelado y control de molinos de caña de azúcar usando accionamientos eléctricos”, en *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*. 6 (3): 44-53.

Rosero, E., Ramírez, J. y Gómez, A. (2008). “Evaluación del desempeño dinámico y la eficiencia energética en molinos de caña de azúcar con accionamientos térmicos y eléctricos”, en *Energía y Computación*. 16(2): 25-32.

Sánchez-Amaya, J.M., Bethencourt, M., González-Rovira, L. y Botana, F.J. (2009). “Medida de ruido electroquímico para el estudio de procesos de corrosión de aleaciones metálicas”, en *Revista de Metalurgia*. 45(2):142-156.

Universidad de Quintana Roo, Programa MIRC. (1999). “Septic Manual-Pasos para construir tu propia fosa séptica”. *Septic System Construction Handbook*. Quintana Roo, Universidad de Quintana Roo.





TLAXCALA

TRANSFERENCIA Y ADOPCIÓN DE TRES ECO-TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS TRASPATIOS EN ÁREAS PERIURBANAS DE TLAXCALA¹

Dr. Aníbal Quispe Limaylla²

► Introducción

En México una de las preocupaciones manifiestas por gobiernos, instituciones y organizaciones ha sido en relación con la pobreza de las familias rurales y el descenso en la producción y productividad, especialmente de los productores de pequeña escala, que es la mayoría en el país. Esta situación indeseable se debe a varios factores, pero principalmente a la poca efectividad de los programas de apoyo, a la escasez de tecnologías apropiadas y a la forma convencional de hacer agricultura que ha prevalecido en los últimos 50 años.

Aunque desde hace aproximadamente cinco décadas los programas de desarrollo agrícola han procurado promover el aumento de la producción y productividad de los agricultores de pequeña escala, es relativamente reciente el reconocimiento de la importancia de este tipo de productores para la economía mundial. En efecto, desde hace pocos años, se empezó a reconocer que en la mayoría de los países en desarrollo, más de la mitad de los alimentos de origen vegetal proviene de las parcelas de los agricultores en pequeña escala (Díaz, 1998).

¹ Proyecto FOMIX: TLAX-2003-C02-12591

Monto aprobado: \$526,000.00

Otras aportaciones: \$450,700.00

Monto total: \$976,700.00

² Colegio de Postgraduados.



A pesar de este reconocimiento, por varias razones la agricultura que practican los agricultores de pequeña escala, de algunos años a la fecha, ha sufrido reveses. Algunas de ellas han estado relacionadas con el proceso de la globalización y ajuste estructural iniciados a mediados de la década de los ochenta. A esto se han sumado los efectos de la apertura de mercados y de una competencia desigual en los países del sur, como en los casos de América Latina, el repliegue del Estado y los servicios de extensión, crédito, investigación, entre otros, que han dejado un vacío y no han sido cubiertos por el sector privado (Rodríguez, 2001). A esta situación se ha sumado la prevaeciente forma de hacer agricultura basada en la llamada agricultura industrial que tuvo sus expresiones más sobresalientes con la llamada “revolución verde” y, últimamente, con lo de la biotecnología agrícola, particularmente con la denominada “ingeniería genética” que, aunque algunos de sus defensores afirman que este tipo de tecnología es congruente con la sustentabilidad, la realidad ha demostrado lo contrario.

En este contexto pareciera que la agricultura en pequeña escala estuviera condenada a desaparecer. Sin embargo, experiencias basadas en la práctica de una agricultura alternativa sugieren que este tipo de agricultura puede tener un desarrollo importante. Para lograrlo, se requiere de programas que superen los enfoques, métodos y los vicios del pasado. Como parte de todo ello, la superación de la situación en que se encuentra este tipo de productores dependerá no sólo de las tecnologías adquiridas o mejoradas, sino en gran parte, de su conocimiento de la demanda y requerimientos del mercado, de su capacidad de organizar más eficientemente su producción o servicios, y de aprovechar eficazmente sus espacios para la producción, incluido el traspatio, que puede convertirse en un medio importante para superar el problema de la desnutrición y la falta de seguridad alimentaria.

Así mismo, para evitar los efectos nocivos que la agricultura convencional ha provocado al medio ambiente, la ecología y la biodiversidad, debemos seguir generando formas alternativas para aumentar la productividad. La innovación tecnológica será clave en esta tarea, y dentro de ella habrá que lograr una nueva revolución en el campo agronómico, entendiendo como tal a las nuevas maneras de aprovechar los recursos que nos ofrece la naturaleza, y la generación o mejora de las tecnologías, de tal modo que sean compatibles con la conservación de los recursos naturales, sociales y culturales, para aumentar la producción de alimentos sin dañar el ambiente (Altieri, 1999).

Afortunadamente en la actualidad ya existen numerosas investigaciones y acciones que evidencian la posibilidad de emprender una nueva forma de hacer agricultura, más acorde con lo natural, con la vida y el futuro de la humanidad. La agroecología, la agricultura orgánica, la permacultura, entre otras, son alternativas que nos demuestran que sí es posible practicar una agricultura sustentable.

La agroecología es una disciplina científica que estudia la agricultura desde una perspectiva ecológica; tiene como propósito analizar los procesos agrarios desde una perspectiva holística, incluyendo lo social, lo económico y lo político (Alba, 2005). La agroecología surgió para enfrentar los problemas causados por la agricultura convencional. Está basada en una filosofía pragmática que busca el bienestar material y espiritual del ser humano en armonía con su entorno natural, del cual se sirve. Gracias al avance de este nuevo campo del conocimiento, ahora se cuenta con estrategias alternativas para la agricultura, como la agricultura orgánica, la permacultura, la agricultura biointensiva, entre otras, en las que se emplean las llamadas ecotecnias.

Estudios recientes (Bueno, 2004), basados en la explicación teórica de la mini granja biointensiva u otros enfoques alternativos de agricultura, indican que ahora con tecnologías apropiadas, en superficies pequeñas, se pueden obtener rendimientos de alimentos de dos a cuatro veces más que cuando son producidas bajo un sistema agrícola convencional. Estos sistemas alternativos de producción en pequeña escala tienen su fundamento en los principios agroecológicos (Rodríguez, 2001).

Para lograr este propósito, Meneses (2003) sugiere que el modelo de la granja biointensiva debe funcionar como un organismo, cuyos procesos tengan la suficiente fuerza para mantenerlo sano, vigoroso y productivo. Dentro de ese organismo existe una circulación de materiales vegetales y animales, cuyo producto debe ser aprovechado de la mejor manera posible.

Aunque en nuestro medio es todavía escasa la aplicación de los principios agroecológicos para la agricultura en pequeña escala, sin embargo, la agudización de la pobreza rural, la falta de seguridad alimentaria, la degradación del medio ambiente, la inequidad, entre otros, están obligando a productores, funcionarios, técnicos, investigadores y sociedad en general a pensar y practicar la agricultura sustentable.

Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Los antecedentes señalados en párrafos anteriores indican que, por un lado, existe una base sólida de la teoría para producir alimentos en forma sustentable en superficies pequeñas y, por otra, el reconocimiento de la importancia de la agricultura en pequeña escala, entre ellas, lo del traspatio para la economía familiar, pero que en la mayoría de los casos no son considerados como tal. Así mismo, la investigación y la promoción para su uso racional y sustentable han sido casi inexistentes. En México, los intentos de apoyo gubernamental para mejorar la producción en pequeña escala, y entre ellos el de los traspatios, datan apenas de algunos años (SAGARPA e IICA, 1998). Sin embargo, las escasas evaluaciones realizadas indican que sus resultados fueron muy débiles, por la forma parcial de abordarlo y por lo limitado de los apoyos otorgados (Rojas y Quispe, 2004).

► Objetivo general

El propósito del proyecto fue generar conocimientos y experiencias sobre cómo aprovechar racional e integralmente los traspatios para producir alimentos sanos y nutritivos que las familias requieren, y difundirlos para su réplica en ámbitos de similares condiciones.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

El proceso de la transferencia y adopción de las ecotecnias. Con base en los antecedentes señalados, previo un plan, se decidió llevar a cabo un proyecto conjuntamente con 20 familias de dos comunidades del estado de Tlaxcala, acciones que contribuyan a mejorar la producción agropecuaria del traspatio, usando tres tecnologías a las que denominamos ecotecnias: 1) compostaje con lombrices, para la fertilización orgánica de los cultivos, 2) captación y almacenamiento de agua de lluvia en cisternas de ferro cemento, para disponer de agua suficiente, y 3) uso de invernaderos de mediana capacidad, para producir hortalizas con un sistema de riego por goteo.

Previo consulta con los representantes de cada una de las 20 familias, el proyecto fue iniciado en marzo de 2004 con el apoyo económico del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Tlaxcala, y logístico de la Secretaría de Fomento Agropecuario (SEFOA) también del Estado de Tlaxcala. El proyecto se llevó a cabo en las comunidades rurales de Española y Atlahuetzía, Tlaxcala.

Cuando se inició el proyecto, ninguna de las 20 familias rurales había usado las tres ecotecnias introducidas. Una vez que las familias decidieron participar en el proyecto, la primera acción fue capacitar al menos a dos miembros de cada familia en la construcción y uso de las tres ecotecnias. La capacitación duró aproximadamente 15 días, en diferentes períodos y especialmente de forma práctica.

Una vez capacitados los miembros de las familias se inició con la construcción de la infraestructura de cada ecotecnia. Se empezó con la instalación de los *invernaderos y el sistema de riego por goteo*, para lo cual, de acuerdo con las normas de SEFOA, fueron instalados 20 invernaderos de 48 metros cuadrados cada uno, por una empresa que la propia SEFOA contrató. Por esta razón, la participación de los miembros de las familias en la construcción de los invernaderos fue escasa.

Casi en forma paralela cada familia construyó una *“compostera gemela”* para manejar y convertir los residuos orgánicos (estiércoles y residuos de cosecha y cocina), en abono con lombrices. Se le denominó gemela porque las dos *“camas”* van pegadas y con las

mismas dimensiones: 3 o 4 metros de largo, un metro de ancho y 0.35 metros de alto. En todos los casos se usaron tabicones, cemento y arena. Cada compostera tiene la capacidad para manejar una tonelada de residuo orgánico. Para captar los lixiviados, la base de las composteras tiene una inclinación de 2%. En total se construyeron 20 “composteras gemelas” funcionales.

Finalmente, los campesinos construyeron las cisternas de ferro-cemento, con una capacidad promedio de 35 mil litros cada una, para captar las aguas de lluvia de los techos. Éstas fueron de forma cilíndrica para evitar el rompimiento o cuarteaduras en caso de temblores. Se decidió que fuesen de ferro-cemento por lo económico y durabilidad. Para dirigir el agua del techo de las casas hacia la cisterna, se instaló una red de tuberías de PVC. En total se construyeron nueve cisternas en la comunidad de Españita. No se construyó ninguno en la comunidad de Atlihuahuetzía, porque los recursos económicos ya no fueron suficientes y porque la mayoría de las familias de esta comunidad disponía de agua durante casi todo el año.

Habiendo concluido la construcción de la infraestructura de las ecotecnias, los campesinos empezaron a utilizarlas en distintos momentos de acuerdo con la disponibilidad y necesidad. Tal como estaba previsto, en los invernaderos los campesinos cultivaron hortalizas, principalmente jitomate. La mayoría obtuvo buenas cosechas gracias a la disponibilidad de agua y la lombri-composta como abono. Un factor importante para obtener buenas cosechas fue la aplicación de la lombri-composta, que repercutió en el buen crecimiento y resistencia a plagas y enfermedades.

A continuación, se presenta un cuadro en el que se muestra el costo de la construcción de cada ecotecnia por familia, así como la procedencia de los recursos.

Costo de la construcción de cada ecotecnia por familia y procedencia de los recursos								
Fuente	Invernadero		Cisterna		Compostera		Total	
	\$	%	\$	%	\$	%	\$	%
Familia	1,000	3.85	6,500	25.05	350.0	1.35	7,850	30.25
SEFOA	11,000	42.77	0.0	0.0	0.0	0.0	11,100	42.77
FOMIX	0.0	0.00	7,000	26.97	0.0	0.0	7,000	26.97
TOTAL	12,100	46.62	13,500	52.02	350	350	25,950	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Beneficios. A pesar de que ninguna de las familias participantes había tenido experiencia de cultivar en un medio de clima controlado (invernadero), todas tuvieron entre buena y muy buena cosecha. La mayoría sembró jitomate, seguido por brócoli, y algunos lo hicieron en forma de policultivo (varias especies a la vez). Las que sembraron brócoli,

algunas llegaron a producir hasta casi 440 kg, es decir, 2.00 kg por planta. La mejor cosecha fue en aquellas que combinaron lo orgánico con lo químico. Las que sembraron en policultivo, también tuvieron excelente cosecha. En estos casos fue difícil estimar el rendimiento, pero tuvieron cosechas, no sólo para el autoconsumo, sino también para vender. Las que sembraron jitomate, todas tuvieron entre buena y excelente cosecha.

Si bien el propósito de la producción de hortalizas fue para el autoconsumo, en todos los casos tuvieron excedentes y lograron venderlas localmente. Ninguna familia tuvo problemas para la venta, por el contrario, lograron un ingreso importante, porque las familias vecinas de la comunidad preferían comprar las hortalizas producidas por el grupo, y las familias del proyecto se convirtieron en famosas dentro de la comunidad, por vender hortalizas orgánicas y de buena calidad.

No se hubieran logrado estos resultados, si la asesoría, la asistencia técnica y el apoyo a la gestión, por parte del grupo del Colegio de Postgraduados, no hubiera sido constante y permanente. El acompañamiento en las primeras fases fue trascendental hasta que las familias lograron confianza y valoraron lo que se estaba haciendo.

La producción y productividad de hortalizas logradas por las familias participantes indica claramente que éstas adoptaron las tres ecotecnias sin mayor dificultad, porque respondieron a sus necesidades, presentaron facilidad en su uso y manejo, resultaron compatibles con su realidad social y cultural, y la potencialidad que tienen no sólo para el traspaso, sino también para la agricultura de otras parcelas de mayor superficie.

Valoración de los participantes sobre el uso de las ecotecnias. Sobre la adopción y valoración de las ecotecnias introducidas, para la mayoría, tanto de Atlihuetzía como de Españita, las ecotecnias no fueron complicadas para su uso, lo cual puede deberse a que fueron compatibles con sus costumbres y cultura y respondió a sus necesidades.

En general, sobre la utilidad de las tres ecotecnias, la mayoría tuvo una apreciación favorable. Estas opiniones también fueron muy cercanas a la satisfacción por usarlas, lo que indica que no sólo estaban satisfechos por tenerlas, sino también por usarlas y la utilidad que significó para ellos.

Impacto del proyecto. Uno de los impactos inmediatos que tuvo el proyecto fue que la Secretaría de Fomento Agropecuario del gobierno del estado, basado en las experiencias exitosas del proyecto, decidió promover y apoyar a 210 familias campesinas de las zonas más empobrecidas de la entidad, especialmente en los municipios de Terrenate y Altzayanca.

► Productos entregados

Al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del estado de Tlaxcala:

- Una tesis de licenciatura
- Un folleto sobre las bondades de las tres ecotecnias
- Un manual para usar las tres ecotecnias
- Un libro sobre la parte teórica y resultados del proyecto
- Un video sobre el uso de las tres ecotecnias con la participación directa de los beneficiarios del proyecto.

A los productores:

- Nueve cisternas de ferro-cemento, con capacidad de 32 mil litros promedio cada una
- Veinte invernaderos con un sistema de riego por goteo
- Veinte composteras para convertir los residuos orgánicos en abono con lombrices.

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

En casi tres años el proyecto demostró que familias con limitados recursos económicos del ámbito rural y semiurbano, pueden producir alimentos de buena calidad en sus traspatios y generar ingresos por la venta de los excedentes, utilizando tecnologías agroecológicas muy apropiadas a sus condiciones socioeconómicas. Difícilmente hubiera sido posible tener estos logros de no haber cumplido con los siguientes requisitos esenciales: 1) capacitación de los miembros de las familias participantes, 2) disponibilidad de los recursos y medios en los momentos adecuados, 3) seguimiento permanente hasta que las propias familias sean capaces de hacer por ellas mismas, 4) buena relación y comunicación entre los promotores y los beneficiarios. De este modo, las familias participantes en el proyecto adoptaron con facilidad gran parte de las prácticas relativas a las tres ecotecnias.

Finalmente, a través del proyecto se comprobó que sí es posible practicar una agricultura realmente sustentable, en la que no se afecte negativamente a los recursos: agua, suelo y la biodiversidad que la naturaleza nos ofrece. Esta forma de hacer agricultura es totalmente compatible con aquella que se practica a pequeña escala, y posee la potencialidad para contribuir de manera importante a superar la desnutrición y la pobreza de las familias rurales que viven en estas condiciones.

Referencias

Alba, E. (2005). "La producción convencional de alimentos a la agroecología, un camino necesario". En: *Materiales de Reflexión*. Comisión Confederal Contra la Precariedad, España. En: http://www.cgt.es/descargas/MR_22_Agroecologia.pdf

Altieri, M. A. (1999). "Los mitos de la biotecnología agrícola: algunas consideraciones éticas". *Revista Red, Gestión de Recursos Naturales*, segunda época, 14: 62-67.

Bueno, M. (2004). "La importancia del huerto familiar ecológico". *Discovery DSalud*. En: http://www.dsalud.com/casasana_numero14.htm

Díaz, E. J. (1998). *La transferencia de tecnología apropiada al pequeño agricultor*. Bibliografía digital del CREFAL.

Meneses, O. (2003). "Agricultura biodinámica". En: <http://www.naturalred.com/agricultura/agroarticulos/huertos.htm>.

Rodríguez, D. (2001). "Tecnología apropiada para la producción en pequeña escala en el sur: nuevos desafíos". Ponencia presentada en la I Conferencia sobre Tecnología para el Desarrollo Humano y Sostenible. Santiago de Chile, mayo 2001.

Rojas L., A. Quispe, (2005). "Evaluación del programa Microgranjas Orgánicas Integrales 1999-2000 en el municipio de Texcoco, estado de México: avances, logros y limitaciones". Aceptado para su publicación en la *Revista ISEI*, Colegio de Postgraduados, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (1998). *Mujeres en el Desarrollo Rural, Marco Conceptual y Operativo*. (IICA-México).



MIGRACIÓN Y POBREZA: REMESAS, CONDICIONES DE VIDA Y TRAYECTORIAS LABORALES DE MIGRANTES TLAXCALTECAS EN ESTADOS UNIDOS Y CANADÁ¹

Dr. Adrián González Romo²

► Introducción

En las últimas dos décadas el tema de la migración ha venido ocupando una de las principales planas de la vida social, económica y política del país, y hemos sido testigos de un éxodo masivo de personas que han dejado su hogar en busca de mejores alternativas laborales. En forma directa, ello ha beneficiado a familias enteras e, indirectamente por la derrama económica que las divisas de los trabajadores ocasiona a un sector importante de la población que se dedica a los servicios y el comercio. Las oportunidades negadas en el lugar de origen, ante perspectivas poco claras, han sido las causas principales de tal decisión. El fenómeno se ha manifestado a nivel nacional, incorporándose población de lugares que no se consideraban de trayectoria migratoria, como es el caso del estado de Tlaxcala.

¹ Proyecto FOMIX: TLAX-2004-C03-25

Monto aprobado: \$475,000.00

Aportaciones concurrentes: \$18,000.00

Otras aportaciones: \$132,000.00

Monto total: \$625,000.00

² El Colegio de Tlaxcala, AC.

Esta investigación buscó hacer una contribución para entender la problemática regional del estado del Tlaxcala, en el aspecto migratorio, y de ahí su relevancia. Se exponen resultados de un estudio realizado con migrantes y familias de migrantes, tratando de dar respuesta a una interrogante central: ¿Qué elementos hacen que las familias tlaxcaltecas estén viendo la migración como una alternativa de vida? El objetivo es analizar las condiciones de vida, los aspectos laborales y los efectos que está ocasionando dicha emigración de la población tlaxcalteca hacia los Estados Unidos y Canadá, ante los cambios recientes ocurridos en la correlación de fuerzas internacionales y el endurecimiento de la política migratoria. Se parte de la hipótesis de que las condiciones adversas en los lugares de origen están provocando que las familias de un estado, que no tenía características migratorias, opten por cambiar de residencia en espacios internacionales buscando ingresos que ayuden a sus hogares, y afectando con ello la estabilidad emocional a cambio de la estabilidad económica.

Mediante el trabajo de campo se contrastan dos realidades de migrantes tlaxcaltecas: por un lado, aquellos que por la vía de un contrato han estado participando en el Programa de Trabajadores Agrícolas Temporaleros en las granjas canadienses y, por el otro, la realidad en que se encuentran los trabajadores ilegales que han decidido dejar a sus familias para buscar el sueño americano en los Estados Unidos.

La decisión de migrar, una vez que se toma, lleva consigo aparejado un sinnúmero de problemas que se tienen que sortear, desde la separación de la familia y las deudas que se contraen para hacer frente a tal decisión, el cruce fronterizo cada vez más complicado e inseguro y la situación que padecen los connacionales al estar trabajando –tanto por el exceso de trabajo al que se someten, la discriminación y la constante psicosis en la que se ven envueltos–, hasta las leyes cada vez más adversas a que se tienen que enfrentar.

De los logros que se tienen, no cabe duda que son también importantes y que gracias a su esfuerzo las familias logran contar con el ingreso para las necesidades más apremiantes del hogar, así como contar con una vivienda adecuada, lograr la manutención del hogar y, en su caso, el que los niños sigan estudiando.

En forma comparativa se puede señalar la estabilidad que muestran los trabajadores en las granjas canadienses en cuanto a prestaciones, seguridad social y menor distanciamiento, que los que llegan a laborar en los Estados Unidos. El trabajo es rudo para ambos tipos de trabajadores, pero perciben mayor ingreso los que laboran en los Estados Unidos, aunque los que están en Canadá pueden hacer un mayor ahorro, porque no tienen gastos de vivienda y alimentación, ya que son proporcionados por las propias granjas.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

La política acertada de financiamiento de la investigación en el estado de Tlaxcala a través de los Fondos Mixtos ha mostrado procesos interrumpidos a través del tiempo, afectando en forma directa su continuidad, a tal grado que durante 2005 se dio la última convocatoria existente. El proyecto a que hacemos referencia en este resumen se desarrolló de 2006 a 2008, en lo que se llamó “Carteras de proyectos para el desarrollo regional del estado de Tlaxcala”, cuyo objetivo central fue el de apoyar aquellos proyectos que atendieran una problemática específica del estado. En este caso se decidió otorgar el financiamiento al presente proyecto, dada la problemática que estaba enfrentando el estado de Tlaxcala en el aspecto migratorio.

En los últimos 15 a 20 años se transformó el tipo de migración existente, pasando de un tipo de migración regional pendular a una con características internacionales sobre todo de tipo ilegal a los Estados Unidos, aunque por otro lado se consolidó en el estado de Tlaxcala el Programa de Trabajadores Temporales a Canadá (iniciado desde 1971), ocupando uno de los primeros lugares en envío de trabajadores a las granjas canadienses bajo contrato. La importancia de este programa para las familias tlaxcaltecas no es acompañado de una demanda importante de trabajadores por parte de los granjeros canadienses, y como tal no ha podido ser una alternativa para satisfacer a una población urgida de necesidades de empleo mejor remunerado. El periodo coincide con el crecimiento y auge importante de la migración, aparejado al incremento de las remesas a nivel nacional y, por tanto, de una población que no encontraba alternativas en su lugar de origen.

► Objetivo general

Evaluar las condiciones de vida, la importancia de las remesas sobre el desarrollo, las trayectorias laborales y los efectos que ocasiona la emigración de la población tlaxcalteca hacia los Estados Unidos y Canadá, ante los cambios recientes ocurridos en la correlación de fuerzas internacionales y el endurecimiento de la política migratoria.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

El proyecto se dividió fundamentalmente en tres etapas. La primera de ellas parte de la idea de la apropiación del objeto de estudio, y se hace un recuento de la búsqueda de los aportes que se han realizado en el estado de Tlaxcala respecto de la problemática migratoria, conjuntado con la información derivada de las fuentes secundarias. La segunda etapa se enfocó en trabajar con las familias de migrantes en las comunidades

de origen, apoyados siempre en informantes clave y autoridades locales. Y la tercera consistió en el trabajo de campo con los trabajadores tlaxcaltecas en los lugares de arribo, tanto en los Estados Unidos como en Canadá. En el trabajo de campo, tanto en las comunidades de origen como en las de arribo, la información se captó mediante entrevistas a profundidad, con una guía de entrevista y un cuestionario estructurado (cuando fue necesario se grabó en video y con grabadoras de sonido).

Se seleccionó como primer marco de muestreo a 16 municipios, por considerarse importantes para el estudio de la población tlaxcalteca respecto de la temática migratoria; siete son municipios que cuentan con población migrante de un índice de intensidad migratoria media y alta a Estados Unidos, según datos del CONAPO (2000). Para el caso de los migrantes a Canadá, se seleccionaron los municipios que cuentan con mayor número de trabajadores en el Programa de Trabajadores Agrícolas Temporales a Canadá (PTAT), que en este caso fueron ocho y en su conjunto suman 61% de la población migrante a Canadá.

En total, se seleccionaron 16 municipios, donde se entrevistó a una muestra de 157 familias, de las cuales 71 eran de trabajadores que se fueron a Canadá y, 86, de migrantes que se fueron a los Estados Unidos. En el primer caso se utilizaron los listados proporcionados por el PTAT y, en el segundo, se apoyó en el método de bola de nieve para la selección de la muestra. En los lugares de arribo, se procedió de la siguiente manera: en el caso de los trabajadores en Canadá se seleccionaron las provincias de Quebec y de Ontario, donde se entrevistó a 50 trabajadores ubicados en 16 granjas. En el caso de los Estados Unidos se entrevistó a 62 migrantes en siete de las principales ciudades donde radica la población tlaxcalteca, muestra que fue definida según la información proporcionada por los familiares en los lugares de origen.

► Productos entregados

- Se entregó un libro de 203 páginas con los resultados del proyecto, publicado por Siena Editores.
- Se realizó el Primer Seminario Regional denominado “La migración de tlaxcaltecas hacia Estados Unidos y Canadá: panorama actual y perspectivas” en el año 2008, donde nos reunimos cerca de 30 especialistas en dicha temática.
- Se publicaron tres capítulos de libros, un artículo en revista indexada y se asistió a cuatro seminarios internacionales sobre la temática respectiva (2005-2008); tres en Michoacán y uno en la UAEM, Toluca Estado de México (2006) y dos encuentros regionales en el estado de Tlaxcala (CONAPO y AMECIDER).
- Se graduó un estudiante de nivel maestría del CISSDER-Universidad Autónoma de Tlaxcala.

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

La investigación realizada nos da la oportunidad de adentrarnos en la problemática que enfrentan las familias tlaxcaltecas ante el fenómeno de la migración, y con ello el poder proponer posibles alternativas que ayuden a la mejor toma de decisiones.

En primer lugar, se tiene que entender que el fenómeno es demasiado complejo, que involucra decisiones de política económica a nivel federal, que requiere reactivar la economía y ofrecer condiciones más adecuadas para que la población no se vea en la necesidad de emigrar y, de esa manera, el que lo haga sea por decisión personal; y, en segundo lugar, es necesario que el Estado mexicano busque la negociación en política migratoria de condiciones más favorables para los trabajadores mexicanos. Cambios en la política económica que permitan, por un lado, contar con fuentes de empleos mejor remunerados e inversiones en el sector agropecuario que incentiven la productividad y el empleo de las familias rurales, como mecanismo para evitar que la población vea la emigración como única alternativa.

De la misma manera, es importante replantear la forma de ver al migrante como el salvador de la economía de este país y, por el contrario, proponer alternativas de desarrollo adecuadas donde todos tengan cabida.

Podríamos señalar con base en los resultados de este trabajo, y sin temor alguno a equivocarnos, que la política migratoria durante el sexenio de Fox puede considerarse como un rotundo fracaso. Fue una política basada en elementos subjetivos de creer que, por la buena amistad entre dos mandatarios, se podía llegar a acuerdos, pasando por alto los diferentes intereses de los países. Por otro lado, las condiciones que están haciendo que la población busque alternativas a través de la migración hacia los Estados Unidos prevalecen, de tal manera que, pese a los factores en contra de los migrantes, éstos seguirán intentando emigrar. Mientras tanto, en el sexenio de Felipe Calderón los migrantes poco figuran en la agenda gubernamental, cayendo en el extremo provocado por el mandatario anterior.

Tratar ambos factores en la nueva política migratoria va a ser fundamental para tener una política congruente; sin embargo, el panorama no es nada halagüeño. La política errada que se siguió en el sexenio del presidente Vicente Fox, se basaba en la propaganda de la importancia de la migración por las remesas en la economía mexicana, pero fue más una promoción para justificar la incapacidad de crear condiciones para evitar que la población abandonara el país en busca de las oportunidades que aquí se le negaban. Sirvió como estímulo para que la gente viera que los que se van a trabajar al extranjero ganan lo suficiente como para enviar recursos a sus familias.

De igual modo, observamos la poca sensibilidad del país vecino que no quiere entender la importancia que representa para ambas economías el contar con mecanismos migratorios concertados, de mayor control y seguridad laboral.

Si bien el estado de Tlaxcala y la región de estudio no presentan condiciones desventajas por lo que se refiere a la marginación y el desempleo, según datos del INEGI (2000), y proyección para el estado, del CONAPO (2006), se consideraba que en Tlaxcala 95.26% de la población estaba ocupada y sólo 4.74% no, mientras que la situación salarial de la actividad económica representa una fuerte presión para conseguir mejores ingresos y, la migración, una oportunidad para lograrlo. De acuerdo con los resultados de la información captada en las entrevistas de población emigrante en el estado, 41% de esta población reafirmó que el problema de los bajos salarios fue la causa que los orilló a emigrar –el promedio de ingreso que percibían antes de emigrar era de 700 pesos semanales, el mínimo de ingreso que señalaron obtener fue de 260 y un máximo de 1,000 pesos a la semana, según los datos de la muestra–; otro grupo de familias entrevistadas (22.5%) considera que sólo lo hace para mejorar las condiciones de vida, ya que con el salario pagado es difícil aspirar a tener algo mejor, y 25% de la población consideró que el problema es la dificultad de encontrar empleo, ya que no existe para la gente con bajo nivel escolar (González, 2008).

Agrupándolos según rangos, se observa que los ingresos son inferiores en la población dedicada a las actividades del campo, y principalmente en aquellos trabajadores que migran con destino a Canadá.

Ingresos	País destino		Total
	Estados Unidos	Canadá	
1000-1500	12.9	35.9	28.4
1501-2000	9.7	31.3	24.2
2001-2500	9.7	9.4	9.5
2501-3000	32.3	7.8	15.8
3001-3500	16.1	10.9	12.6
3501-4000	19.4	4.7	9.5

Fuente: Elaboración propia, datos de campo en localidades de Tlaxcala, 2006

Podemos concluir que la difícil situación de los dos principales sectores productivos que dan ocupación a la población –uno, el sector agropecuario basado fundamentalmente en la agricultura, con las condiciones de economía campesina de cultivos básicos de temporal, que se encuentra en total abandono con rentabilidad nula, y el otro, la actividad

industrial manufacturera intensiva en cuanto al trabajo, pero con baja remuneración salarial— fungen como un factor expulsor de la mano de obra.

De los dos destinos de la migración internacional del estado de Tlaxcala, ambos casos encuentran su explicación en la necesidad imperiosa de los migrantes por encontrar mejores ingresos que los que reciben en su lugar de origen. En lo tocante a la migración con destino a Canadá, los requisitos para ser trabajador temporal en este país están ligados principalmente a la agricultura, mientras que la que se dirige a los Estados Unidos está ligada a los sectores primario y secundario.

Indudablemente existen logros o cambios importantes en las familias migrantes, sobre todo cuando el salario diferencial existente entre ambos países les permite a los trabajadores estar enviando remesas constantes a sus familiares, para cubrir sus necesidades básicas de alimentación, vivienda, salud y educación. Es un hecho que ambas partes, tanto los que se van como los que se quedan, sufren por la decisión: los que se quedan, porque tienen que enfrentar los cambios que implica la falta del jefe de familia, quien es el principal responsable de las decisiones que se toman en el hogar; los que se van, por el alto nivel de depresión, temor-psicosis (a que los deporten), alcoholismo, como parte de la soledad que ocasiona el estar lejos de la familia y, al llegar a su lugar de destino, sacan esta gran represión a la que están sometidos ocasionando choques con la comunidad y con las autoridades.

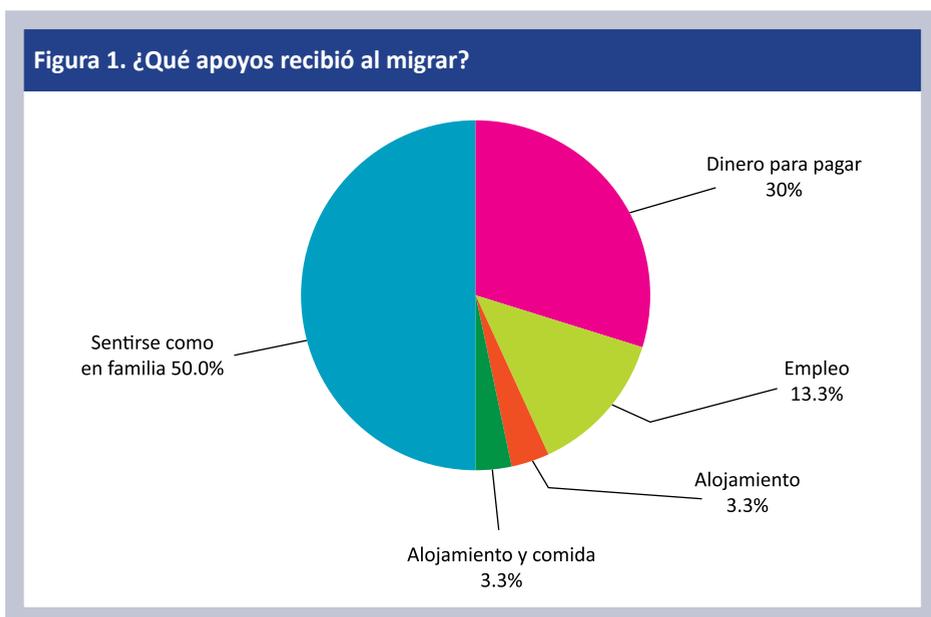
La relación entre los que están y los que se van con el tiempo se transforma en una forma metalizada: “cuánto me envías, cuánto me quieres”, “no me envías, no me quieres”, sin detenerse a pensar en las dificultades que enfrentan en el empleo y las condiciones de vida en el extranjero. Se observa un proceso de desintegración familiar ante la imposibilidad de estar regresando en forma periódica (tiempo promedio: 4 a 5 años para retornar al lugar de origen, en el caso de los migrantes que van a los Estados Unidos), y se propicia que los que estén en el extranjero tengan doble trabajo o laboren horas extras con la finalidad de mantener dicha relación. En realidad, del problema de la desintegración familiar se sabe poco, porque se minimiza a partir del momento en que los migrantes envían dinero y sus familias comienzan a tener mejores condiciones de vida. Se habla también de la dificultad de poder llegar a su destino, y se deja a un lado el largo peregrinaje por el que transitan para conseguir empleo, o se carece de un claro diagnóstico de cuántos de ellos se dedican a actividades ilícitas, de la violación a sus garantías individuales y de un sinnúmero de problemas que forman parte de su estancia en el extranjero.

La migración de tlaxcaltecas a los Estados Unidos es un proceso cada vez más intenso, en el que la forma de migrar es mediante las redes migratorias con el apoyo de los polleros

(100% de casos), estableciéndose en los lugares donde ya existen vínculos familiares, alejados de la frontera, mientras que la migración a Canadá es la más estable, pero con pocas posibilidades de que puedan incorporarse más trabajadores. El tipo de problemas familiares es un tanto distinto, pero sigue acarreado las mismas consecuencias de estar fuera del hogar, aunque ha sido una alternativa para mejorar sus condiciones de vida.

Las redes de familiares que radican en el lugar de arribo juegan un papel importante, ya que son el eslabón más fuerte en el que se apoya el nuevo migrante; se complementa con la ampliación de los nodos de la red, donde se señala que 97% de los entrevistados cuenta con más de un amigo en el lugar donde radican en los Estados Unidos, 70% considera que se trata de paisanos tlaxcaltecas, mientras que 30% son mexicanos o latinos. El número de paisanos tlaxcaltecas en promedio que conocen, incluyendo la familia, es alrededor de 30, aun cuando se frecuentan en promedio unas 20 personas en promedio.

Esto permite, desde luego, brindar todo el apoyo necesario al nuevo migrante que se va incorporando —así se muestra en la Figura 1—, pues se considera que no sólo recibe el apoyo para migrar, sino que le sirve en gran medida como mecanismo de interacción supliendo la familia que quedó en la comunidad de origen, aunque también los apoyan para conseguir empleo y con los alimentos necesarios mientras se establece laboralmente. Posteriormente se va integrando a las actividades colectivas y sociales que imprimen un ritmo diferente y complementario a las establecidas personalmente.



Los programas concertados, y específicamente el que se tiene con Canadá, muestran bondades y es importante seguir haciendo estudios de fondo, ya que representan una opción viable para aquellas personas que no encuentran un empleo digno en nuestro país y se ven en la necesidad de buscar empleo fuera de nuestras fronteras. Existen referencias de los mismos trabajadores donde constatan los logros obtenidos y los beneficios de lo que este programa ha aportado a la población tlaxcalteca. El número de solicitantes va en aumento cada año; así, la demanda de los empleadores canadienses se ve rebasada considerablemente y el número de rechazados es mayor, limitante que tiene que ser cubierta buscando nuevas alternativas o convenios, con el mismo país y con los Estados Unidos. Para ello es necesario revisar el Acuerdo de Libre Comercio (TLCAN), con el fin de ampliarlo en la parte laboral.

Mucho se ha dicho de los aspectos negativos que están sucediendo con este programa y quizá no se ha querido resaltar los beneficios que las familias han encontrado al contar con este ingreso. Cabe señalar que las granjas canadienses están en los ojos de muchos observadores, desde sindicatos independientes que han querido afiliarse a estos trabajadores, el Estado mexicano a través de sus oficinas consulares, la prensa crítica y hasta los investigadores en México, y por eso no pueden cometer atropellos contra los trabajadores tan fácilmente. Por supuesto que no faltan aquellos granjeros capitalistas que sólo ven en el trabajador una ganancia y pierden el sentido humanista con el que se le debe tratar, pero indudablemente eso también pasa con los patrones en México y no es exclusivo de los canadienses. Sin embargo, es claro que el programa ha tenido sus mejoras y que es necesario seguir pugnando para obtener mejores condiciones laborales para los trabajadores mexicanos, y la representación la tienen, sin lugar a dudas, tanto la Secretaría de Relaciones Exteriores a través de sus consulados como la Secretaría del Trabajo en México.

Bibliografía

CONAPO (2006). Página electrónica www.conapo.gob.mx/mig_int/03.htm

INEGI (2000). *XII Censo general de población y vivienda*, México DF.

González Romo, Adrián (2008). *Migración y pobreza: remesas, condiciones de vida y trayectorias laborales de migrantes tlaxcaltecas en Estados Unidos y Canadá*. El Colegio de Tlaxcala, AC. ISBN 978-970-9871-25-8



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS CONTAMINANTES DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA¹

Dr. Juan Suárez Sánchez,² Hipólito Muñoz Nava, Saturnino Orozco Flores,³ Gerardo Sánchez Torres Esqueda,⁴ Walter Ritter Ortiz,⁵ Johannes C. van der Wal,⁶ Juan María Treviño Trujillo,⁷ Pedro Rafael Valencia Quintana⁸

► Introducción

El río Zahuapan es el principal caudal del Estado de Tlaxcala. Hasta hace algunos años era posible disfrutar de su paisaje, de sus aguas limpias adecuadas para la recreación. En sus aguas se desarrollaba una gran diversidad de organismos –peces, crustáceos, anfibios, entre otros. El incremento de la industria, el mal manejo de las actividades agropecuarias y el crecimiento demográfico en el estado han contribuido de manera determinante a la contaminación de tan importante cauce, al grado de que, en la actualidad, el río funciona como canal de desagüe, transportando gran cantidad del agua utilizada por la industria, los municipios y la agricultura. Esto ha ocasionado que el río tenga un alto grado de

¹ Proyecto FOMIX: TLAX-2004-C03-27

Monto aprobado: \$557,000.00

Aportaciones concurrentes: \$36,000.00

Monto total: \$593,000.00

² Responsable Técnico del Proyecto. Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

³ Ambos del CICB-UAT.

⁴ De la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

⁵ Del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

⁶ Del Colegio de la Frontera Sur.

⁷ De la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

⁸ CUGyA-UAT.



contaminación que impide el desarrollo de gran variedad de organismos, además de los riesgos para la salud humana que esto representa, ya que en la parte sur del estado de todos modos su agua es utilizada para la irrigación de cultivos, como los de hortalizas.

Las autoridades federales, estatales y municipales han reconocido este grave problema y han realizado acciones encaminadas al saneamiento de tan importante río, pero no se han reflejado en un mejoramiento palpable de la calidad de su agua. Para lograr el saneamiento de este río, optimizando tiempo y costos, es necesario contar con herramientas que permitan determinar las acciones y el orden en el que éstas se deberán desarrollar.

Así, ante el grave problema de contaminación del río Zahuapan es necesario tomar medidas que permitan recuperar la calidad de su agua. Debido a que los procesos de contaminación y, por ende, de recuperación se dan en largos periodos de tiempo (años o décadas), cualquier acción orientada a lograr el objetivo de recuperar la calidad del agua, tendrá efecto también a mediano y largo plazos. Por ello, es necesario contar con una herramienta que permita evaluar el impacto de las propuestas a corto, mediano y largo plazos para la recuperación de la calidad del agua del río.

El estudio de los problemas ambientales tales como la contaminación del río Zahuapan, generalmente se han abordado desde la perspectiva disciplinar, teniendo como resultado poco impacto en su solución. En las últimas décadas se han desarrollado metodologías con un enfoque holístico para el estudio de problemas de este tipo. Tal es el caso del análisis de sistemas y simulación. Este enfoque ha funcionado principalmente en el estudio de sistemas donde se tiene poca información y donde las metodologías tradicionales de optimización no han tenido éxito. Consiste en realizar modelos de simulación del sistema, y después experimentar en los modelos las diferentes acciones de solución, identificando los puntos de palanca en el modelo y utilizándolos para incidir en ellos, para así poder influir en el comportamiento del sistema.

En este proyecto se elaboró un modelo de simulación espacio-temporal de la dinámica del ciclo hidrológico en la subcuenca del río Zahuapan, utilizando el programa WEAP (Water Evaluation And Planning System). Con este modelo se generaron escenarios de la dinámica espacio-temporal de materia orgánica en el río y la disponibilidad de agua en la subcuenca.

Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Diagnóstico de la problemática ambiental y propuestas de alternativas para el manejo integral de recursos naturales en Tlaxcala.

Objetivo general

Desarrollar un modelo de simulación de la dinámica espacio-temporal de los contaminantes del río Zahuapan para la región de Tlaxcala, que permita generar la información necesaria para la toma de decisiones en las alternativas de solución para el saneamiento de este río.

Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

Para la elaboración del modelo se utilizó la información sobre la delimitación de la subcuenca del río Zahuapan y sus 110 microcuencas, se analizaron los tributarios de este río y se seleccionaron los 10 más importantes, tomando en cuenta su caudal y área de influencia. Con base en esto se definieron diez unidades espaciales de trabajo (Figura 1).

Para cada unidad de trabajo se investigaron las siguientes características: área, población, usos de suelo, cubierta vegetal, precipitación pluvial, gasto de agua por actividad económica, evapotranspiración, caudal del río Zahuapan y escurrimiento. Así, también, para cada unidad de trabajo se tomaron y analizaron muestras de calidad del agua del río cada 28 días durante un año, a partir del mes de septiembre de 2006.

Figura 1. Unidades de trabajo de la cuenca del río Zahuapan, Tlaxcala

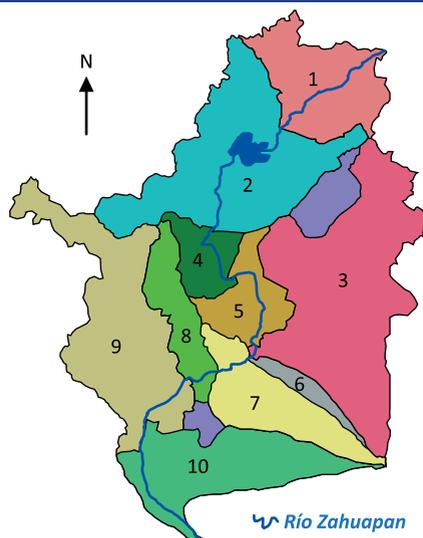
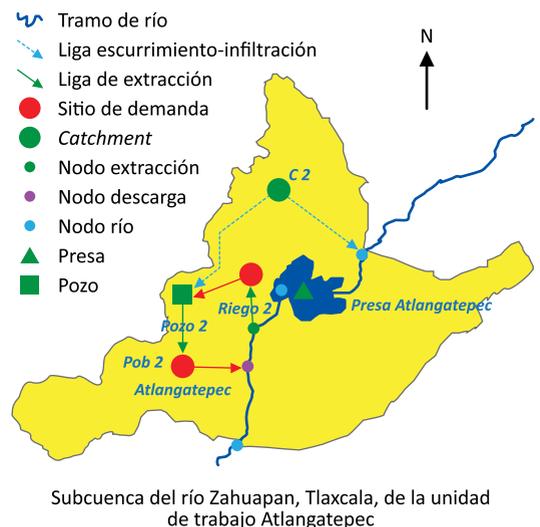


Figura 2. Estructura básica del modelo de simulación de la disponibilidad de agua



La estructura espacial del modelo se elaboró en WEAP21, representando un tramo de río (*river*) delimitado para cada unidad de trabajo. Se incorporaron dos sitios de demanda de agua (*demand site*): uno para la población y otro para la producción agrícola de riego. Es importante señalar que en esta zona la población utiliza agua subterránea para satisfacer sus demandas, y para la agricultura de riego emplea agua del río. Por eso, la demanda de agua de la población se conectó mediante una liga (*link*) a un pozo (*groundwater*), y la demanda de agua para la agricultura de riego se conectó mediante una liga (*link*) al río. En el modelo, el agua usada por el sitio de demanda de la población regresa al río a través de un flujo de retorno, debido a que es común que las poblaciones viertan su agua residual directamente al río o a barrancas que finalmente llegan al cauce del mismo. Por otro lado, del agua utilizada por el sitio de demanda de la agricultura de riego, parte se infiltra al acuífero mediante un flujo de retorno. En esta zona no existe un manejo adecuado del agua para riego; la forma tradicional para realizar esta actividad agrícola es mediante agua rodada, por lo que existen pérdidas por evapotranspiración e infiltración. Los procesos de precipitación pluvial, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración se representaron mediante un nodo (*catchment*) y se utilizó el método de lluvia-escurrimiento para el cálculo de estos procesos (Figura 2).

Los tramos de río de cada unidad de trabajo se unieron para representar en su totalidad al río Zahuapan. Dentro de cada unidad de trabajo, el trazo del río se realizó en el sentido de la corriente. El trazo total del río se realizó de la unidad de trabajo más baja (Zacatelco) a la más alta (El Pardo) (Figura 3).

En la unidad de trabajo Atlangatepec se encuentra ubicada la presa con el mismo nombre; el funcionamiento de esta obra hidráulica se representó mediante un nodo (*reservoir*).

Para las variables de estado, disponibilidad de agua en la subcuenca y concentración de materia orgánica en el río, se generaron escenarios a 5 y 10 años. Para la disponibilidad de agua se consideraron el impacto de dos aspectos, el crecimiento poblacional y el Cambio Climático Global (CCG). En relación con el crecimiento poblacional se utilizó la información sobre las tasas de crecimiento de todos los centros de población que se encuentran en cada unidad de trabajo, publicados por el INEGI (2005) (Tabla 1), bajo el supuesto de que se mantendrá constante el comportamiento del crecimiento poblacional durante el periodo de simulación. Así mismo, se generaron proyecciones para el mismo periodo de simulación de la precipitación pluvial, ante el cambio climático global, utilizando el Modelo PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*). Este sistema de modelado climático regional fue desarrollado por el Hadley Center de la Oficina de Meteorología del Reino Unido (PRECIS, 2008). Para la concentración de materia orgánica en el río se consideró únicamente el crecimiento poblacional.

Figura 3. Modelo conceptual para la simulación de la disponibilidad de agua en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala

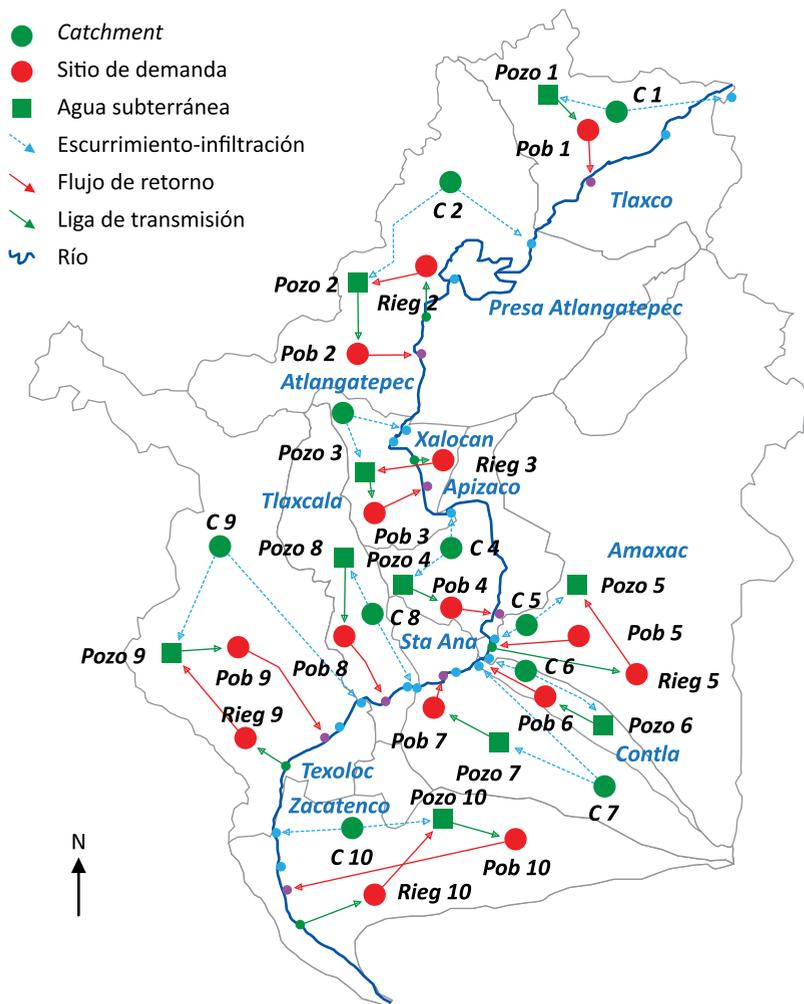


Tabla 1. Tasa de crecimiento de las poblaciones de cada unidad de trabajo de la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala. Año base 2005. (INEGI, 2005)

Unidad de trabajo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tasa de crecimiento	1.3	0.1	4.6	1.4	2.3	2.0	1.7	2.4	2.9	1.6

Tabla 2. Área, población y densidad de las unidades de trabajo en la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México

Unidad de trabajo	Área (Km ²)	Población (habitantes)	Densidad (hab/Km ²)
1	142.335	17,873	125.6
2	281.903	7,115	25.2
3	358.614	88,915	247.9
4	53.593	8,833	164.8
5	74.886	82,621	1,103.3
6	23.158	3,420	147.7
7	117.159	108,400	925.2
8	73.540	72,441	985.1
9	250.123	73,125	292.3
10	173.310	108,241	624.5

Para cada unidad de trabajo, el consumo anual de agua por la población se infirió del número de habitantes (Tabla 2), considerando una tasa de uso de agua igual a $109.5 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Ambientum, 2006; Hoekstra y Chapagain, 2007), tomando en cuenta una variación mensual de tipo normal, con su máximo en la época primavera-verano y con una pérdida del sistema de 70%. La demanda anual de agua por la actividad agrícola se representó por el área (Tabla 3) y la tasa de uso de $193.25 \text{ m}^3 \text{ Ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Halfacre y Barden, 1992), considerando una variación mensual de tipo normal, con su máximo en las épocas de otoño-invierno y con una pérdida del sistema de 70%.

Los usos de suelo en las unidades de trabajo (*catchment*) se representaron por su área, de acuerdo con la información contenida en las cartas digitales escala 1: 50 000 (INEGI, 2005) (Tabla 3). El coeficiente de cultivo (Kc) se obtuvo de las tablas publicadas por la FAO (1990) (Tabla 4). Los datos mensuales promedio de la precipitación pluvial se obtuvieron de los registros de cuatro estaciones climatológicas de la red de la CONAGUA-TLAXCALA, distribuidas dentro de la subcuenca. La evapotranspiración potencial se calculó por el método de Thornthwaite (Torres, 1995), utilizando la temperatura promedio mensual (Tabla 5).

La precipitación efectiva para suelos erosionados y poblados fue de 5%; para el área agrícola, 15%; para pastizal, chaparral y pradera, 25%; y para bosque, de 30% (Díaz, 2005). La producción potencial para los diferentes tipos de cubierta vegetal fue de 100 Kg Ha^{-1} para el suelo erosionado, $4\,300 \text{ Kg Ha}^{-1}$ para las áreas agrícolas, $5\,555.55 \text{ Ha}^{-1}$ para pradera, pastizal y chaparral, y $11\,960 \text{ Kg Ha}^{-1}$ para bosque (Odum, 1998).

Tabla 3. Uso de suelo en cada unidad de trabajo de la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México

Unidad de trabajo	Agricultura temporal (Km ²)	Agricultura riego Km ²)	Erosión (Km ²)	Bosque (Km ²)	Pastizal (Km ²)	Pradera (Km ²)	Chaparral (Km ²)
1	65.142	0	14.7	53.874	0	0	0
2	190.828	34.364	25.519	8.799	21.766	0	0
3	254.647	14.081	24.439	33.745	18.239	0.0770	13.365
4	36.456	0	17.137	0	0	0	0
5	51.933	0.000016	20.501	0	0	0	2.452
6	19.576	0	1.847	1.735	0	0	0
7	75.871	0	9.805	21.874	1.647	0.7094	7.252
8	38.188	0	4.586	24.774	0	0	5.991
9	167.571	13.5	28.189	21.817	11.514	0	7.503
10	116.398	31.302	11.142	7.384	6.412	0.4920	0
Total	1016.610	93.247	157.865	174.002	59.578	1.2784	36.563

Tabla 4. Coeficiente del cultivo (Kc) para los diferentes usos de suelo de la subcuenca del río Zahuapan (FAO, 1990)

Uso del suelo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pastizal, chaparral y pradera	0	0	0	0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0	0	0
Bosque	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Agrícola	0	0	0	0	0	1.2	1.2	0.6	0	0	0	0
Erosionado	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0

Tabla 5. Evapotranspiración potencial (mm) para las unidades de trabajo de la subcuenca del río Zahuapan. Calculada por el método de Thornthwaite (Torres, 1995)

Unidad de trabajo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	4.2	4.8	5.9	6.7	6.9	6.6	5.9	5.9	5.9	5.4	4.8	4.5
2	3.8	4.2	5.4	6.3	6.7	6.5	5.9	5.9	5.9	5.2	4.4	3.9
3, 4 y 5	3.8	4.4	5.5	6.3	6.8	6.5	6.1	6.2	6.2	5.5	4.7	4.1
6, 7, 8 y 9	3.9	4.6	5.8	6.8	7.5	7.4	6.8	6.9	6.7	6.2	5.1	4.3
10	3.9	4.6	5.8	6.8	7.5	7.4	6.8	6.9	6.7	6.2	5.1	4.3

Se consideró la existencia de un solo acuífero en toda la subcuenca (Castillo, 2006) con almacenamiento inicial desconocido, capacidad de almacenamiento y máxima extracción ilimitadas.

► Productos entregados

- Una tesis de licenciatura: “Simulación de la disponibilidad de agua y su contaminación por materia orgánica en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala”.
- Una tesis de maestría: “Evaluación y planificación del recurso agua en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala”.
- Una publicación: Suárez *et al.* (2008). “Impacto del cambio climático global en la disponibilidad de agua en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México”. *Avances en Recursos Hídricos*. Núm. 17: 25-32. Universidad Nacional de Colombia.
- Un manual para la transferencia de la metodología y sus resultados a los usuarios del proyecto.
- Un libro: Suárez *et al.* (2009). *Manejo Integrado de Cuencas Hidrológicas: Delimitación de cuencas y modelos de simulación de balance de agua*. Universidad Autónoma de Tlaxcala. México. 70 pp.
- 3 presentaciones en Congresos Regionales
- 3 presentaciones en Congresos Nacionales
- 1 presentación en Congreso Internacional

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

En la subcuenca del Zahuapan se captan en promedio 779.6 millones de m^3 año⁻¹ de agua de lluvia. Los escurrimientos en el norte son mayores que en el sur.

La demanda de agua por uso doméstico y agricultura de riego es de 40.2 millones de m^3 año⁻¹. Debido a que en el sur de la subcuenca se asienta la mayor parte de la población y se practica la agricultura de riego, esta área demanda 88% del total.

Las regiones centro y sur de la subcuenca son las que presentan las mayores descargas de materia orgánica, destacando la unidad de trabajo donde se ubica la ciudad capital, debido a que en esta región es donde se encuentra la mayor parte de la población de la subcuenca.

De continuar los mismos patrones de comportamiento en el uso de agua (doméstico y agrícola) y crecimiento poblacional, en la subcuenca bajo estudio se espera a 10 años que:

- La precipitación pluvial anual disminuya en un orden de 6% con respecto al año base del modelo (2005), lo cual representa una reducción de la captación de agua en la subcuenca de 44.5 millones m^3 año⁻¹ aproximadamente.

- La demanda de agua se incrementa en un orden de 25.4% con respecto al año base, equivalente a 10.2 millones de $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$.
- El almacenamiento en el acuífero disminuye en un orden de 13.8% con respecto al año base, lo cual representa 44.4 millones $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$ aproximadamente. Es importante señalar que la reducción en el almacenamiento del acuífero es el resultado del efecto combinado del incremento en la demanda de agua y la disminución de la precipitación pluvial.
- El valor de la disponibilidad de agua per cápita pasa de 1 165.34 a 873.77 $\text{m}^3 \text{hab}^{-1} \text{año}^{-1}$, lo que representa una disminución de 25%, lo que ubicará a esta subcuenca en estrés hídrico.
- Las descargas de materia orgánica al río se incrementarán 60%.

De acuerdo con estas conclusiones, es evidente la necesidad de emprender acciones orientadas hacia el manejo sostenible de esta subcuenca, basadas en investigaciones científicas, que permitan la preservación del recurso hídrico.

Los resultados obtenidos en este proyecto, plasmados en los productos entregados, contribuyen con bases teóricas y metodológicas para el manejo integrado del recurso agua en la subcuenca del río Zahuapan. Identifican, modelan y simulan la dinámica de la materia orgánica, principal contaminante del río, y también identifican otra problemática igual de importante que es la disponibilidad de agua. El modelo generado será una herramienta útil para la toma de decisiones en el saneamiento del río Zahuapan y para la mayoría de las acciones que incorporan al recurso agua como uno de sus componentes. Los resultados, metodologías y bases teóricas fueron transferidos mediante conferencias, curso-taller y manual de usuario del modelo a los usuarios (Coordinación General de Ecología del Estado de Tlaxcala y SEMARNAT Delegación Federal Tlaxcala) e interesados en su aplicación.

► Referencias bibliográficas

Ambientum (2006). "El consumo de agua en porcentajes". En [<http://www.ambientum.com/revista/index.htm>]. Consultada en septiembre de 2007.

Castillo (2006). "El Agua En Tlaxcala". I Congreso Nacional de Medio Ambiente. Tlaxcala, México. Conferencia.

Díaz, F.E. (2005). "Interceptación pluvial por plantaciones de *Pinnus michoacana*, encinar y pastizal en la zona baja de la cuenca". Tesis Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 100 pp.

FAO (1990). "Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos". En [<http://www.fao.org/>]. Consultado en septiembre de 2007.

Halfacre y Barden (1992). *Horticultura*. AGT Editor S. A. 727 pp.

Hoekstra, A. Y. Y A. K. Chapagain (2007). "Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern". *Water Resource Manage.* 21:35-48

INEGI (2005). Censo población. En [<http://www.inegi.gob.mx/>]. Consultado en septiembre de 2007.

Odum E. P. y F. O. Sarmiento (1998). Ecología. *El puente entre ciencia y sociedad*. México, McGraw-Hill Interamericana,.

PRECIS (2007). Modelo climático regional HadRCM. En [<http://precis.insmet.cu/Precis-Caribe.htm>]. Consultado en septiembre de 2007.

Torres, R. E. (1995). *Agrometeorología*. México, Trillas. 154 pp.





VERACRUZ

EVALUACIÓN DEL RIESGO PARA LA TRUTICULTURA DE LA INFECCIÓN POR *GYRODACTYLUS*¹

Dr. Miguel Rubio Godoy²

► Introducción

Los gusanos del género *Gyrodactylus* (*Platyhelminthes: Monogenea*) son parásitos de la piel y las branquias de peces marinos y de agua dulce. Su ciclo de vida involucra únicamente a un hospedero. Casi todos los *Gyrodactylus* son vivíparos; es decir, los parásitos adultos dan a luz a gusanos jóvenes, sin producir larvas infectivas. Otra particularidad de los gyrodactílicos es que un organismo puede representar 3 generaciones: de manera similar a las muñecas rusas –matrioshkas–, un *Gyrodactylus* adulto puede contener a una hija en el útero, y ésta, a su vez, a una nieta (Bakke, T.A. *et al.*, 2007). Estas características permiten que las poblaciones de gyrodactílicos aumenten de manera casi exponencial bajo las condiciones adecuadas. La transmisión de los gyrodactílicos depende principalmente del contacto entre hospederos, aunque los parásitos también pueden invadir nuevos hospederos al dejarse llevar por las corrientes de agua o quedándose suspendidos en la superficie del líquido, y pueden permanecer viables e infectivos

¹ Proyecto FOMIX: VER-2006-01-32679

Monto aprobado y total: \$181,453.18

² Del Instituto de Ecología, AC.

algunos días sobre hospederos muertos. Una consecuencia de este sencillo ciclo de vida que involucra a un solo hospedero es que los monogéneos se reproducen fácilmente en ambientes artificiales, como los acuarios y las granjas acuícolas, en ocasiones abrumando y matando a sus hospederos (Buchmann, K. *et al.*, 2004; Rubio-Godoy, M., 2007; Woo, P.T.K., 2006). Se conocen tres especies de *Gyrodactylus* particularmente patogénicas: *G. salaris*, un parásito de peces salmónidos que afecta seriamente la industria noruega del salmón y cuya presencia obligatoriamente se tiene que reportar en la mayor parte de Europa; *G. salmonis*, una especie problemática que infecta salmónidos en Norteamérica; y *G. cichlidarum*, un patógeno de la tilapia.

► Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

Mejoramiento de la actividad pesquera y de acuicultura.

► Objetivo general

El objetivo central de este proyecto de investigación era evaluar el riesgo que podría representar la infección por *Gyrodactylus* para una importante actividad económica en la región aledaña a Xalapa, la acuicultura de trucha arco iris (truticultura). Para hacer esta evaluación, nos planteamos las siguientes preguntas puntuales: ¿Hay *Gyrodactylus* patogénicos en las truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) cultivadas en Veracruz? Las truchas ferales, escapadas de las granjas, ¿pueden servir de vectores de transmisión de *Gyrodactylus* entre piscifactorías? ¿Tienen infecciones de *Gyrodactylus* los peces silvestres que viven en los ríos que alimentan a las granjas trutícolas? ¿Pueden los parásitos de los peces silvestres infectar a las truchas cultivadas? Durante la primera etapa del proyecto respondimos estas preguntas y llegamos a la conclusión de que la truticultura no corría gran riesgo de infección por *Gyrodactylus*. En resumen, encontramos que las truchas veracruzanas, tanto cultivadas como ferales, son hospederos de una nueva cepa de *Gyrodactylus salmonis*, misma que difiere morfológica y molecularmente de *G. salmonis* descrito en Canadá y los Estados Unidos. No consideramos que esta variante de *G. salmonis* sea muy patogénica. Además, determinamos que, en las poblaciones de truchas ferales, la carga parasitaria es baja (baja prevalencia de infección y abundancia promedio de ca. 1 gusano/pez), por lo que el riesgo de que funjan como vectores de parásitos entre granjas es mínimo. Por otro lado, encontramos que los gyrodactílicos que infectan a los peces silvestres también ocurren en números bastante bajos y, crucialmente, no pueden infectar a las truchas. Habiendo respondido esta pregunta fundamental del proyecto, y con todavía mucho tiempo por delante, con gusto seguimos la recomendación que nos hicieron los revisores del primer informe técnico, de ampliar el alcance del proyecto tanto en el número de cuencas como de especies de peces estudiadas.

► Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)

Durante la continuación del proyecto estudiamos los gyrodactílicos de dos tipos de peces, uno de importancia económica, el otro de relevancia básica. En primera instancia, estudiamos a las tilapias (peces del género *Oreochromis*), especies muy importantes para la economía veracruzana y nacional –la tilapia es el principal producto en escama de la acuicultura mexicana. Desde una perspectiva básica, estudiamos los parásitos de peces silvestres en las cuencas de los ríos La Antigua y Nautla, ambas en Veracruz, y del río Moctezuma, en Hidalgo y Querétaro. En ambas vertientes del estudio obtuvimos resultados interesantes, que se esbozan a continuación.

Encontramos que *Gyrodactylus cichlidarum* infecta a diferentes tipos de tilapia cultivados en Veracruz, incluyendo la tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus*, la tilapia mosámbica, *Oreochromis mossambicus*, y diferentes híbridos. En colaboración con colegas del área de acuicultura del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, localizado en Martínez de la Torre, Ver., durante un año estudiamos los cambios de abundancia de *G. cichlidarum* en cuatro grupos genéticos de tilapia. Encontramos evidencia de que los peces son capaces de desarrollar respuestas inmunitarias localizadas contra los parásitos, pero que éstos pueden evadirlas al migrar sobre la superficie del pez –estos resultados los presentamos en distintas reuniones científicas nacionales e internacionales, y en un artículo que actualmente está en revisión por pares en la revista *Veterinary Parasitology*. Además, estos hallazgos sirvieron de punto de partida de investigaciones encaminadas a caracterizar la respuesta inmune de los peces contra los gyrodactílicos, y a intentar desarrollar métodos de inmunización contra éstos.

Por la vertiente de investigación básica, este estudio aportó conocimiento valioso sobre los gyrodactílicos, un género de monogéneos del que hay muy poca información en el país –sólo se habían registrado cinco especies de estos parásitos en México: *G. elegans* (un complejo de especies en estado de confusión taxonómica), *G. neotropicalis*, *G. niloticus* (que recientemente se demostró es una mala identificación y un sinónimo junior de *G. cichlidarum*; García-Vásquez *et al.*, 2007), *G. mexicanus* y *G. lamothei*. La parte taxonómica del trabajo se llevó a cabo en colaboración con el Dr. Andrew Shinn, de la Universidad de Stirling, Gran Bretaña, una de las autoridades mundiales en taxonomía de gyrodactílicos. En este proyecto, aparte de determinar que *G. cichlidarum* ocurre en tilapias cultivadas en México, encontramos que *G. bullatarudis* está presente en el topote del Atlántico, *Poecilia mexicana*. La confirmación de la presencia de *G. cichlidarum* en tilapias cultivadas en Veracruz forma parte de un artículo sobre la distribución global de este parásito, publicado en *Acta Parasitológica*. Finalmente,

encontramos 3 nuevas especies de *Gyrodactylus*: *G. xalapensis n.sp.* que infecta al guatopote manchado, *Heterandria bimaculata*; *G. jarocho n.sp.* que infecta al pez cola de espada verde, *Xiphophorus hellerii*; y *G. tomahuac n.sp.* que infecta al tiro, *Goodea atripinnis* –la descripción formal de las dos especies de parásitos de los peces poecíliidos (guatopote y cola de espada) apareció en un artículo en *Zootaxa*; Estamos a punto de terminar la descripción tanto morfológica como molecular de la variante *G. salmonis* que colectamos de truchas arco iris en Veracruz, misma que someteremos a *Veterinary Parasitology*. Depositamos especímenes de todos los gyrodactílidos que encontramos y describimos en la Colección Nacional de Helminthos, del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Estos depósitos, registros y descripciones de gyrodactílidos en el país constituyen una aportación relevante, pues aumentan a 12 el número de especies de *Gyrodactylus* reportadas en México. También se pretende continuar el trabajo en esta rama de investigación básica.

Durante el proyecto, mi alumno de licenciatura, Emanuel Mimila Herrera, estudió la ecología básica de *G. xalapensis* infectando al guatopote manchado, *H. bimaculata*. El estudio pretendía determinar dos cuestiones potencialmente relevantes para la acuicultura: si las cargas parasitarias presentaban cambios estacionales, y si la infección dañaba a los peces. Con base en muestreos mensuales obtenidos en el río Pixquiac durante un lapso de 18 meses, obtuvimos evidencia significativa de que la temperatura es el principal factor abiótico que controla la abundancia de *G. xalapensis* en los peces silvestres estudiados. Para corroborar el efecto de la temperatura sobre la dinámica poblacional de los parásitos, se hicieron infecciones experimentales a distintas temperaturas controladas. Se confirmó que, a mayor temperatura, mayores abundancias hay de *G. xalapensis*, y también se determinó que a mayor intensidad de infección, hay mayor mortalidad de hospederos. Estos resultados forman la base de la tesis de licenciatura de Emanuel, quien obtuvo el grado de biólogo en 2010 –los datos se emplearán después para elaborar un artículo científico.

Como parte del proyecto, en colaboración con el CEIEGT y el Acuario de Veracruz, estudiamos los parásitos que podrían afectar a las tilapias cultivadas en agua marina. Encontramos que otro parásito monogéneo, *Neobenedenia sp.*, infecta a los peces expuestos al agua salada y los mata en 2-3 semanas. Intentamos vacunar a los peces contra el parásito, pero la inmunización no los protegió. Sin embargo, el estudio nos permitió determinar tanto la dinámica de la infección con *Neobenedenia sp.*, como los efectos de la misma sobre las tilapias. Los resultados de esta investigación están en prensa en *Diseases of Aquatic Organisms*.

Finalmente, uno de los objetivos del proyecto era aportar conocimiento práctico a los acuicultores veracruzanos y nacionales. Para lograr este objetivo, interactuamos con investigadores y productores de tilapia, principalmente. En mi laboratorio probamos

diferentes regímenes de tratamiento para eliminar las infestaciones de *Gyrodactylus* en peces, y encontramos dos que funcionan adecuadamente. Las infecciones leves se pueden tratar con baños de sal. Para las infestaciones severas, se encontró que un tratamiento de duración mediana con dosis bajas de formol, repetido en 2-3 ocasiones, es suficiente para eliminar a los parásitos, sin dañar demasiado a los peces. El tratamiento con formol se probó en el laboratorio con truchas arco iris, tilapias, guatopotes y peces cola de espada verdes, y en todos los casos funcionó. Posteriormente, se probó el tratamiento en el campo, en el CEIEGT, piscifactorías y el Acuario de Veracruz. Habiendo probado la eficacia del protocolo de tratamiento de peces, se incorporó al folleto de divulgación para acuacultores preparado durante la última etapa del proyecto. Se trata de un documento que explica la biología de *Gyrodactylus*, su capacidad de dañar peces y la sintomatología que presentan los mismos, así como los métodos para diagnosticar y tratar las infecciones en las piscifactorías –en primera instancia, este folleto se distribuyó entre acuacultores del estado y dependencias de la administración estatal, con lo que se esperaba maximizar el impacto y la utilidad del estudio científico.

► Productos entregados

A. Artículos científicos

Artículos publicados:

1. Rubio-Godoy, M., Paladini, G., García-Vásquez, A. & Shinn, A.P. (2010) "*Gyrodactylus jarocho* sp. nov. and *Gyrodactylus xalapensis* sp. nov. (Platyhelminthes: Monogenea) from Mexican poeciliids (Teleostei: Cyprinodontiformes), with comments on the known gyrodactylid fauna infecting poeciliid fish". *Zootaxa* 2509, 1-29.
2. García-Vásquez, A., Hansen, H., Christison, K.W., Rubio-Godoy, M., Bron, J.E. & Shinn, A.P. (2010) "*Gyrodactylids* (Gyrodactylidae, Monogenea) infecting *Oreochromis niloticus niloticus* (L.) and *Oreochromis mossambicus* (Peters) (Cichlidae): A pan-global survey". *Acta Parasitológica* 55, 215-229.

Artículo en prensa:

3. Rubio-Godoy, M., Montiel-Leyva, A. & Martínez-Hernández J.A. (2011) "Comparative susceptibility of two different genetic types of tilapia to *Neobenedenia* sp. (Monogenea)". *Diseases of Aquatic Organisms*, en prensa.

Artículos sometidos:

4. Rubio-Godoy, M., Muñoz-Córdova, G., Garduño-Lugo, M., Salazar-Ulloa, M. & Mercado-Vidal, G. "Microhabitat use, not temperature, regulates intensity of *Gyrodactylus cichlidarum* long-term infection in tilapia - are parasites avoiding competition or immunity?". *Veterinary Parasitology*

Artículos en preparación:

5. Rubio-Godoy, M., Paladini, G., Freeman, M.A., García-Vásquez, A. & Shinn, A.P. "Description of a new strain of *Gyrodactylus salmonis* (*Platyhelminthes, Monogenea*) collected in Mexico from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*): Morphological and molecular characterization".
6. Mimila-Herrera, E. & Rubio-Godoy, M. "Temperature regulates abundance of *Gyrodactylus xalapensis* (*Monogenea*) infection in the twospot livebearer, *Heterandria bimaculata* – field and lab results".
7. Rubio-Godoy, M., Paladini, G., García-Vásquez, A., & Shinn, A.P. "Description of two new species of *Gyrodactylus* von Nordmann, 1832 (*Monogenea*) from Mexican goodeid fishes (*Goodeidae*)".

B. Presentaciones en reuniones científicas**Presentaciones en congresos**

1. Rubio-Godoy, M., Muñoz-Córdova, G., Garduño-Lugo, M., Mercado-Vidal, G. y Salazar-Ulloa, M. "*Gyrodactylus* infection in 4 genetic types of tilapia cultured in Veracruz, México". First North American Parasitology Congress, Mérida, Yucatán. 21-25 junio 2007.
2. Rubio-Godoy, M., Muñoz-Córdova, G., Garduño-Lugo, M., Mercado-Vidal, G. y Salazar-Ulloa, M. "*Gyrodactylus* sp. infection in four genetic types of tilapia farmed in Veracruz, México". 7th International Symposium on Fish Parasites, Viterbo, Italia. 24-28 septiembre 2007.

Presentación en simposio

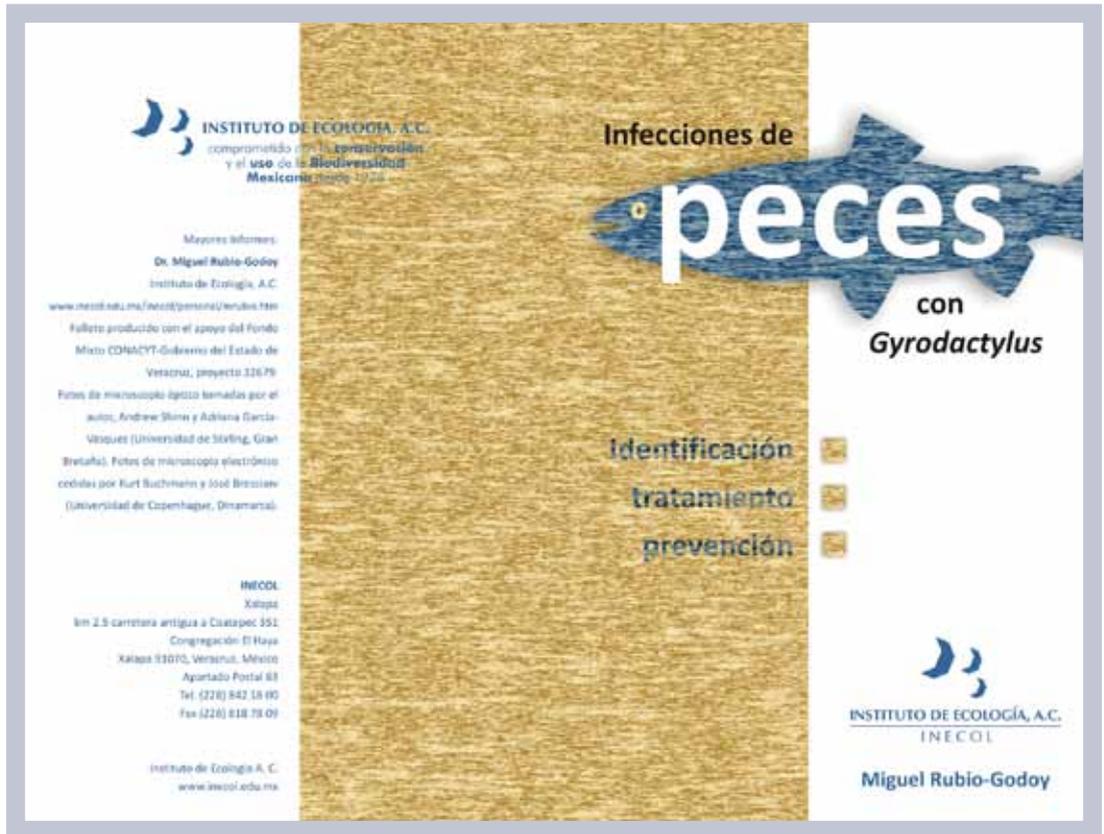
3. Rubio-Godoy, M., Muñoz-Córdova, G., Garduño-Lugo, M., Mercado-Vidal, G. y Salazar-Ulloa, M. "Comparación de la infección por *Gyrodactylus cichlidarum* en cuatro grupos genéticos de tilapia cultivados en la zona centro-norte de Veracruz". XXI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria del Trópico Mexicano, Orizaba-Córdoba, 13-14 noviembre 2008.

C. Tesis

1. Mimila Herrera, Emanuel. Tesis "Efecto de la temperatura del agua sobre la infección con *Gyrodactylus xalapensis* (*Monogenea*) en el poecílido *Heterandria bimaculata* (Heckel, 1848). Estudios de campo y laboratorio". Licenciatura en Biología, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana.

D. Folleto de divulgación para acuacultores

1. *Infecciones de peces con Gyrodactylus - Identificación, tratamiento y prevención.*
Miguel Rubio-Godoy, Instituto de Ecología, A.C.



➤ Conclusiones y/o beneficios obtenidos

El proyecto de investigación propuesto inicialmente consistía en evaluar el posible impacto que podría tener la infección por *Gyrodactylus* sobre el cultivo de trucha arco iris. Como se mencionó en incisos previos, los objetivos centrales del estudio se cumplieron en la primera etapa: se identificaron los gyrodactílicos que infectan a las truchas arco iris en Veracruz, y se descartó que estos parásitos representen un gran peligro para la truticultura. Aprovecho esta oportunidad para agradecerle al CONACYT la flexibilidad y visión para permitirme modificar el proyecto ya echado a andar; la desviación con

respecto al protocolo aprobado representó más una adición a los alcances del mismo, que una modificación que no permitiese alcanzar los objetivos centrales del estudio. Y cabe destacar que el mayor impacto en término de productos del proyecto se obtuvo a raíz de esta desviación, pues la detección de *G. cichlidarum* en tilapias cultivadas y el estudio de su dinámica poblacional, así como la descripción taxonómica de las nuevas especies de *Gyrodactylus* encontradas en peces silvestres, permitieron la elaboración de manuscritos científicos.

Aparte de la información científica básica generada en el proyecto, probamos tratamientos eficientes y adecuados para controlar infecciones de *Gyrodactylus* en las granjas acuícolas del país. Antes de este estudio, los productores veracruzanos con los que interactuamos utilizaban baños de formol concentrados para eliminar infestaciones con estos parásitos. Estos tratamientos, si bien controlaban las infecciones, eran muy agresivos con los peces y no era raro que se perdieran animales después de los mismos. Durante este estudio determinamos que para eliminar algunas infecciones leves de *Gyrodactylus* es eficiente un baño de sal, que es un tratamiento muy sencillo, no tóxico, y que no afecta a los peces. Si las infecciones persisten tras el baño de sal, probamos un baño de formol bastante diluido pero prolongado, que afecta más al parásito que al pez. Ambos tratamientos se probaron en granjas experimentales y productivas en el estado, y se comprobó su eficacia. En estos establecimientos ahora se utiliza rutinariamente este tratamiento de formol para controlar infestaciones con *Gyrodactylus*, y esto ha repercutido en menor mortalidad de peces tratados. Mediante el folleto de divulgación preparado durante este proyecto e impreso con apoyo de FOMIX, se espera replicar esta experiencia en un número mucho mayor de piscifactorías, no sólo de Veracruz, sino del resto del país.

En el folleto de divulgación para acuacultores, además del tratamiento, se especifica claramente todo lo que los productores acuícolas deben saber para identificar, tratar y prevenir infecciones por *Gyrodactylus* en sus animales. Dicho sea de paso, aunque el folleto se refiere en particular a los gyrodactílidos, de implementarse las recomendaciones de manejo propuestas en éste (como la sugerencia de poner en cuarentena a los peces nuevos antes de meterlos a los estanques de la granja; o la necesidad de mantener limpios los estanques y verificar la calidad del agua, etc.), no sólo se evitarán infecciones con *Gyrodactylus*, sino que también con otros patógenos de peces. El folleto se distribuyó en dos eventos importantes: el tradicional día del ganadero en el CEIEGT, efectuado en julio de 2009 y de 2010 en Martínez de la Torre, Ver., encuentro al que asiste gran cantidad de acuacultores veracruzanos; y el Congreso Mundial de Acuicultura (WAS), celebrado en septiembre del 2009 en el World Trade Center de Boca del Río, Ver.

El folleto de divulgación se puede descargar gratuitamente de mi página web, en: <http://www.inecol.edu.mx/personal/index.php/biologia-evolutiva/18-dr-miguel-rubio-godoy>

Referencias:

Bakke, T. A., Cable, J. and Harris, P. D. (2007), "The biology of *gyrodactylid monogeneans*: the 'Russian-doll killers'", *Advances in Parasitology* 64, 161-376.

Buchmann, K., Lindenstrøm, T. and Bresciani, J. (2004), "Interactive associations between fish hosts and monogeneans", en: *Host-Parasite Interactions*, Vol. (eds. Wiegertjes, G. F. & Flik, G.), pp. 161-184, Garland Science/BIOS Scientific Publishers, Oxford.

García-Vásquez, A., Hansen, H. and Shinn, A. P. (2007), "A revised description of *Gyrodactylus cichlidarum*" Paperna, 1968 (*Gyrodactylidae*) from the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus niloticus* (*Cichlidae*), and its synonymy with *G. niloticus* Cone, Arthur et Bondad-Reantaso, 1995, *Folia Parasitologica* 54, 129-140.

Rubio-Godoy M. 2007, "Fish host-monogenean parasite interactions, with special reference to *Polyopisthocotylea*", en: *Advances in the immunobiology of parasitic diseases* (ed. Terrazas, L. I.), pp. 91-109, Research Signpost, Trivandrum. ISBN: 81-308-0166-3.

Woo, P. T. K. (Ed.) (2006), *Fish diseases and disorders, Volume 1: protozoan and metazoan infections*, CAB International, Wallingford, UK.





YUCATÁN

ESTUDIO SOBRE LEPTOSPIROSIS EN MUNICIPIOS DEL ESTADO DE YUCATÁN, SEVERAMENTE AFECTADOS POR EL HURACÁN ISIDORO¹

M en C. María Fidelia Cárdenas Marrufo², M en C. Ignacio Vado-Solís² y M en C. Carlos Pérez-Osorio²

► Introducción

La leptospirosis es una enfermedad causada por la infección de espiroquetas del género *leptospira*.³ Es una zoonosis de amplia distribución mundial,⁴ que ha sido clasificada por la OMS como re-emergente⁵ por el compromiso de la salud humana y repercusiones económicas en la reproducción animal.⁶ Las leptospiras infectan los túbulos renales de varios mamíferos reservorios domésticos (perros, vacas, cerdos, caballos) y silvestres (roedores, zarigüeyas, mapaches), y son excretadas por la orina. La transmisión se da por contacto directo con animales infectados o por exposición al agua, suelo o alimento contaminado con la orina de animales infectados.⁷

La epidemiología de la leptospirosis humana es un reflejo de la relación ambiental entre humanos y animales reservorios infectados.⁸

¹ Proyecto FOMIX: YUC-2002-CO1-8707

Monto aprobado y total: \$144,000.00

² Unidad Interinstitucional de Investigación Clínica y Epidemiológica (UIICE), Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Yucatán.

³ J.M. Vinetz, "Leptospirosis", *Curr Opin Infect Dis*. 2001; 14:527- 538.

⁴ S. Faine, b. Adler, C. Bolin, P. Perolat, "Leptospira and leptospirosis", 2nd ed. Melbourne: *MediSci*; 1999.

⁵ F.X. Meslin, "Global aspects of emerging and potencial zoonoses: WHO perspective". *Emerg Infect Dis* 1997; 3: 223-228.

⁶ J.M. Vinetz. J.M., *loc. cit.*

⁷ S. Faine, *loc. cit.*

⁸ J.M. Vinetz, *loc. cit.*



La enfermedad causa un amplio espectro de manifestaciones clínicas en los humanos que van desde infección subclínica, ligera (febril anictérica), severa (síndrome de Weil con daño renal agudo ARF), hasta potencialmente fatal (síndrome renal con fiebre hemorrágica HFRS y distress respiratorio agudo con hemorragia pulmonar PH).⁹

En los animales domésticos de interés económico causa serias pérdidas financieras debido a abortos, muerte e infertilidad.¹⁰

Ocurre con mayor frecuencia en los países con clima tropical, abundantes lluvias y alta temperatura.¹¹ Es una zoonosis de transmisión principalmente hídrica, ya que el agua es su medio de sobrevivencia y diseminación de un ambiente contaminado a uno no contaminado.¹²

La existencia de leptospirosis en la República Mexicana fue demostrada en 1920 por el Dr. Hideyo Noguchi en el Estado de Yucatán,¹³ y desde entonces hasta la fecha diferentes estudios en humanos y reservorios confirman su endemicidad.¹⁴

La Península de Yucatán, por su situación geográfica, permanentemente es amenazada por fenómenos naturales. El estado de Yucatán fue severamente afectado por el huracán

⁹ R. Plank & D. Dean, "Overview of the epidemiology, microbiology and pathogenesis of leptospira spp. in humans". *Microbes and Infection*. 2000; 2:1265-1276, y Jorge Zavala-Velázquez, María Cárdenas-Marrufo, Ignacio Vado-Solís, Marco Cetina-Cámara, José Cano-Tur and Hugo Laviada-Molina. "Hemorrhagic pulmonary leptospirosis: Three cases from the Yucatán península, México". *Rev Soc Bras Med Trop* 2008, 41(4): 404-408.

¹⁰ Thierman AB. "Leptospirosis". *Clin Infec Dis* 1995; 21:1-6.

¹¹ J.M. Vinetz., *loc. cit.*

¹² K. Western, "Vigilancia epidemiológica con posterioridad a los desastres naturales". Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Pub. Científica No. 420.

¹³ H. Noguchi & J. Klieger, "Immunological studies with a strain of leptospira isolated from a case of yellow fever in Mérida, Yucatan". *J Exp Med*. 1920; 32-67.

¹⁴ I. Vado Solís, M.F. Cárdenas Marrufo, H. Laviada Molina, F. Vargas Puerto, B. Jiménez Delgadillo y J. Zavala Velázquez, "Estudio de casos clínicos e incidencia de leptospirosis humana en el estado de Yucatán, México durante el periodo 1998 a 2000". *Rev Biomédica* 2002; 13 (3); I. Vado Solís, M.F. Cárdenas Marrufo, B. Jiménez Delgadillo, A. Alzina López, H. Laviada Molina, V. Suárez Solís y J. Zavala Velázquez, "Clinical epidemiological study of Leptospirosis in human and reservoirs in Yucatán, México". *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*. 2002; 44(6): 335-340 y Matilde Jiménez-Coello Ignacio Vado-Solís, María F. Cárdenas-Marrufo, Jorge Rodríguez-Buenfil, Antonio Ortega-Pacheco, "Serological survey of canine leptospirosis in the tropics of Yucatan Mexico using two different tests". *Acta Tropica* 2008; 106 (1): 22-26.

Isidoro en 2002. El Fondo Nacional de Desastres (FONDEN) estimó que 85 municipios de un total de 106 sufrieron daños; la gran mayoría de ellos fueron de zonas rurales donde se registraron inundaciones. Los fenómenos naturales afectan en gran diversidad a los ecosistemas, favoreciendo el desplazamiento de animales salvajes o domésticos hacia las proximidades de los asentamientos humanos, siendo esto un riesgo para la aparición de enfermedades zoonóticas (leptospirosis), que pueden ser transmitidas tanto al hombre como a otros animales. La identificación y caracterización epidemiológica es fundamental para evaluar la posibilidad de que aparezca esta enfermedad en las zonas afectadas por fenómenos naturales hidrológicos.

► **Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal**

Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán “IMPACTO DEL HURACÁN ISIDORO”. Área salud: Prevención y control de zoonosis (*Leptospira*).

► **Objetivo general**

Determinar la frecuencia de infección a *Leptospira interrogans* en animales reservorios y presencia de *Leptospira* en aguas de depósitos naturales, e identificar hábitos y prácticas humanas que puedan representar un potencial riesgo de contraer la infección en municipios afectados por el huracán Isidoro.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

El estudio se realizó en 34 municipios seleccionados al azar, de los 85 afectados por el huracán Isidoro, y 14 animales reservorios fueron muestreados por municipio. Los datos estadísticos de tamaño de muestra fueron calculados en el programa Epi-Info. Se tomaron muestras de sangre de bovinos, cerdos y perros. Se colectaron 14 muestras de agua por municipio en depósitos naturales (cenotes, pozos y lagunas) y artificiales (tanques de almacenamiento, abrevaderos, cisternas). En cada municipio se seleccionaron 12 personas que hubieran tenido contacto con animales reservorios con el fin de identificar hábitos y prácticas humanas que pudieran representar un riesgo de contraer la infección. Se utilizó un cuestionario para conocer los potenciales factores de riesgo (biológicos, naturales y socioculturales). Para determinar seropositividad y serovar infectante, se utilizó la técnica de aglutinación microscópica (MAT),¹⁵ considerada por la OMS como prueba

¹⁵ D.M. Mayers, *Manual de métodos para el diagnóstico de laboratorio de la leptospirosis*. Nota técnica 30. CEPANZO OPS. Buenos Aires, 1985; pp. 7-8.

de referencia para leptospirosis, con un panel de 10 serovares prevalentes en la región. Para detectar la presencia de *Leptospira interrogans* en depósitos de agua se utilizó la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) con los primeros Lepat1 y Lepat2.¹⁶

Se encontró positividad a *L. interrogans* en 31 (91%) de los 34 municipios muestreados (Figura 1). Se determinó una prevalencia de 30.5% (145/476) en animales reservorios, y por especie la frecuencia de seropositivos en bovinos fue 45.8% (97/212), siendo los serovares predominantes tarassovi (53.6%) y hardjo (31.6%) con títulos que oscilaron entre 1:100 a 1:3,200. En los perros, la frecuencia fue 36% (22/61) siendo los serovares predominantes *canicola* (79.8%) e *icterohaemorrhagiae* (9.8%) con títulos que oscilaron entre 1:100 a 1:1,600. Para los cerdos, la frecuencia de animales seropositivos fue 13% (26/203) con serovares predominantes a *bratislava* (66.0%) e *icterohaemorrhagiae* (18.7%) con títulos entre 1:100 a 1:400. Las muestras de agua colectadas y procesadas por PCR no presentaron amplificación de la fracción Lepat1-Lepat2, que sugiera la presencia de *L. interrogans*.

Se entrevistó a un total de 408 personas, siendo 92% del sexo masculino con edad promedio de 42 años; 72% mencionó haber tenido inundaciones y 60.2% informó muertes de animales a consecuencia del huracán. El 72% mencionó tener depósitos de agua naturales (pozo, cenote, laguna) y 70% de éstos mencionó utilizar esta agua para limpieza o baño personal. El 42% manifestó observar roedores dentro y alrededor de sus casas o trabajo; 90% no utiliza ropa protectora (zapatos cerrados) al realizar sus labores. El 44% mencionó tener perros que conviven en la casa y son de compañía al realizar sus labores de trabajo. El 99% no vacuna a sus animales contra leptospirosis y no conoce la enfermedad.

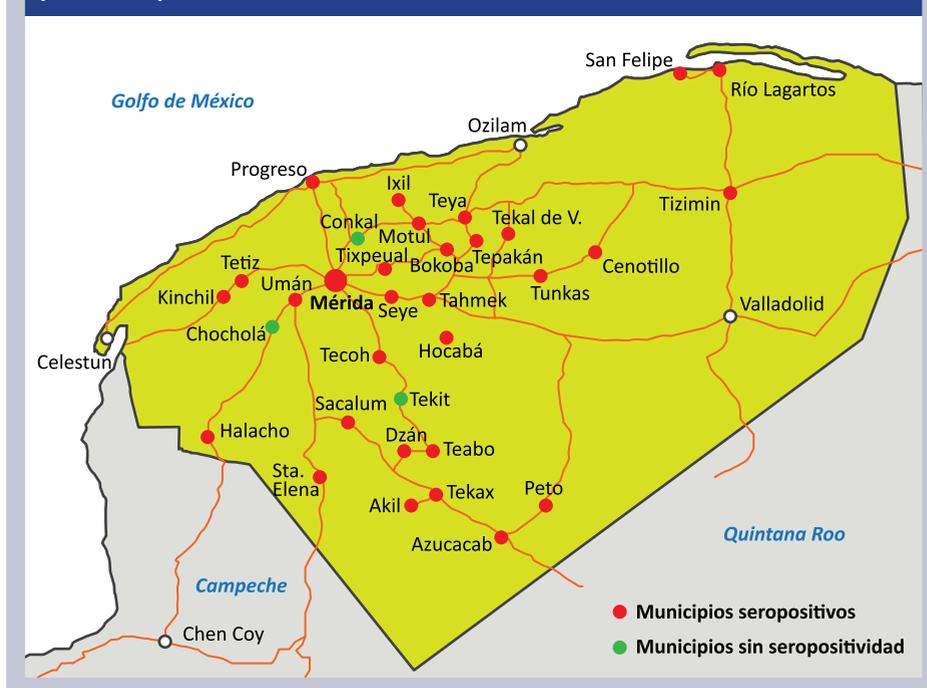
En conclusión, las bacterias causantes de la leptospirosis están presentes en bovinos, cerdos y perros en los municipios del estado de Yucatán afectados por el huracán Isidoro. La frecuencia de seropositividad presentó cambios después del fenómeno con respecto a estudios previos en la región,¹⁷ en los bovinos de 5.6% a 45%, en perros de 19% a 36% y en cerdos de 25% a 13%; los serovares detectados continúan siendo especie específica. Si consideramos que estas especies están en contacto con los humanos, el riesgo de infección está presente, sobre todo si tomamos en cuenta que los entrevistados señalaron no conocer la enfermedad y como consecuencia no vacunan a sus animales. De los datos obtenidos mediante encuestas, podemos determinar que los potenciales factores de

¹⁶ R. Murguía, N. Riquelme, G. Baranton y M. Cinco, "Oligonucleotides specific for pathogenic and saprophytic leptospira occurring in water". *FEMS Microbiology Letters*. 1997; 148: 27-34

¹⁷ I. Vado Solís, M.F. Cárdenas Marrufo, B. Jiménez Delgadillo, A. Alzina López, H. Laviada Molina, V. Suárez Solís y J. Zavala Velázquez, "Clinical epidemiological study of Leptospirosis in human and reservoirs in Yucatán, México". *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*. 2002; 44(6): 335-340.

riesgo de contraer la infección están presentes en las costumbres, hábitos y prácticas de la población yucateca sobre todo del área rural, pero sin duda, el principal factor de riesgo observado, el cual se hace más evidente en situaciones de fenómenos naturales, fue el alarmante desconocimiento de la enfermedad y sus medidas preventivas como son la existencia de vacunas para animales domésticos y de interés económico.

Figura 1. Seropositividad a *Leptospira interrogans* en animales reservorios por municipio



► Productos entregados

- Reporte final con recomendaciones específicas a los beneficiarios del estudio: Secretaría de Salud del estado de Yucatán y la Unión Ganadera Regional General de Yucatán.
- Pláticas informativas para promoción de la salud humana y vigilancia epizootiológica sobre leptospirosis a grupos de ganaderos en los municipios muestreados.
- Presentación en seminarios y congresos nacionales.
- Tres tesis de licenciatura: químico biólogo farmacéutico, biólogo, médico cirujano. Una recibió premio mejor de tesis por la empresa Investigación, Ciencia y Tecnología Internacional (ICT internacional).

► Conclusiones y/o beneficios obtenidos

En este estudio se pudo constatar el incremento de seropositividad a *Leptospira interrogans* en animales reservorios como consecuencia del huracán Isidoro; sin embargo, el desconocimiento de la enfermedad y sus medidas preventivas obligan establecer mecanismos de vigilancia epidemiológica, prevención (promoción a la salud) para evitar casos humanos, y la vigilancia epizootiológica de animales reservorios.

Se favoreció el trabajo interdisciplinario, incluyendo a químicos, biólogos, veterinarios médicos, en colaboración con el sector salud y unión ganadera del estado de Yucatán. Permitted realizar un estudio de casos y controles en personas ocupacionalmente expuestas, evaluación de métodos diagnósticos más sensible y específico como ELISA IgM.



IMPACTO DE LIXIVIADO DE BASUREROS EN EL ACUÍFERO CÁRSTICO DE MÉRIDA, YUCATÁN¹

Dr. Roger González Herrera²

► Introducción

Las características muy particulares del subsuelo yucateco originan que el manejo y disposición de los desechos sólidos representen un potencial de contaminación del acuífero, única fuente del vital líquido para la población, ya que los basureros se encuentra emplazados sobre rocas calizas fracturadas que presentan un alto grado de carsticidad, lo que facilita la migración de lixiviados hacia el sistema acuífero local cuyo nivel freático es somero (con profundidades máximas aproximadas de diez metros debajo de la superficie del terreno en la parte sur del Estado de Yucatán). Por lo general, los sitios de disposición de residuos domésticos no cuentan con recubrimiento en la base; por lo anterior, se puede suponer que cualquier líquido derramado en el suelo, a volúmenes considerables, llegará al acuífero.

¹ Proyecto FOMIX: YUC-2002-C01-8724

Monto aprobado y total: \$768,600.00

² Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Yucatán y responsable del proyecto. También participaron en el mismo el MI Ismael Abelardo Sánchez y Pinto, Profesor Investigador TC de la UADY; el Dr. Iñaki Vadillo Pérez. Profesor Investigador de la Universidad de Málaga, España; el QBA. Víctor Coronado Peraza y el IQI Javier Frías Tuyín, Técnicos Académicos TC de la UADY.



El proyecto se enfocó al estudio de la evolución de la calidad del agua subterránea del sistema acuífero localizado al noroeste de la ciudad de Mérida, el cual se ha visto afectado por la contaminación mediante el lixiviado que se infiltra al nivel freático.

La ciudad de Mérida cuenta actualmente con un relleno sanitario, pero desde finales de los años 70 hasta principios de 2000 se depositan los residuos sólidos directamente en el terreno en un sitio en donde, durante los primeros años de vida del sitio, eran incinerados después de la pepena; a partir de 1993 se implementó el método de área de disposición, el cual consiste en construir celdas de basura directamente sobre la superficie del terreno, sin ningún tipo de protección al acuífero. Ésta es una forma inadecuada de disposición final de basura que no cumple las normas oficiales mexicanas como la NOM-083-SEMARNAT-2003: “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial”, lo que ha generado contaminación por medio de los lixiviados que se infiltran hacia el agua subterránea.

Metodología

En el afán de obtener muestras representativas del lixiviado que percola del basurero y que finalmente impacta al acuífero, se implementó un dispositivo para la intercepción del mismo, y su posterior análisis. El Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial otorgó al mencionado aparato la patente de innovación tecnológica #211497: “Muestreador de lixiviado en sitios de disposición de desechos sólidos que no cuentan con sistemas de recolección”, en 2002, según expediente PA/a/1998/001950 de la Dirección Divisional de Patentes. Se ubicaron estos dispositivos estratégicamente en el sitio para recolectar muestras con una periodicidad prácticamente diaria en la época de lluvias y se inspeccionaban semanalmente en la época de secas hasta coleccionar un volumen apropiado para las determinaciones analíticas que se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán (Figuras 1 y 2). En el lugar se realizaron determinaciones de parámetros físico-químicos en el lixiviado coleccionado, preservando y empacando aquellas que se transportaron al laboratorio para su posterior análisis.

La toma de muestras de agua subterránea se llevó a cabo considerando, dentro del ciclo hidrológico, las épocas de sequía y lluvias en la zona, y aprovechando la presencia de eventos extraordinarios como huracanes, durante el período estudiado, en la Península de Yucatán.

► Resultados

Con base en la química de los iones principales se dedujo que, durante el período de estudio, el sitio estuvo en una fase transitoria, de la acetogénica a la metanogénica, de descomposición la mayor parte del tiempo, y que las condiciones redox influyeron en la infiltración de la precipitación y el tiempo de residencia del lixiviado en la basura.

Se advirtió que 16.71% de las sales queda retenido en el suelo y 83.28% pasa al subsuelo. El potencial de infiltración promedio en la zona de estudio es de 0.197 l/s en los primeros metros debajo del nivel del terreno, antes del nivel freático del acuífero. Durante la realización de algunas pruebas de infiltración se obtuvieron descargas instantáneas mayores a 10 l/s debido a la presencia de cavidades y fracturas encontradas en el sitio, las cuales no permitieron establecer un flujo controlado y de caída constante del nivel del agua en el tanque de observación que se utilizó para la mencionada prueba.

Las aguas de los pozos que circundan al basurero municipal corresponden al tipo bicarbonatada cálcica que es el tipo de agua que predomina en la región. Las de los pozos ubicados en y muy próximos al sitio de disposición son, en general, del tipo mixta con tendencia a clorurada sódica. Estos puntos de muestreo son los más afectados por la contaminación que producen los lixiviados del basurero provenientes de los desechos de origen doméstico, ya que se encuentran ubicados en donde éstos les llegan de manera importante. El huracán Isidoro causó una disminución importante en las concentraciones de los contaminantes por el efecto advectivo y la dilución en el sistema.

Figura 1. Colecta de lixiviado en época de secas



Figura 2. Colecta de lixiviado en época de lluvias



► Conclusiones y recomendaciones

No se debe consumir el agua subterránea de la zona de estudio, ya que el consumo diario máximo que se espera que no produzca efectos adversos a la salud, debe ser mucho menor al requerido por el cuerpo humano (mismo que se estima en aproximadamente 3 litros al día), incluso en los pozos más alejados del basurero; en los más cercanos equivaldría a un vaso de agua de 300 ml/día aproximadamente, para el caso de una persona adulta. En un infante este consumo diario máximo sería menor que 300 ml, puesto que cuenta con un peso corporal menor al del adulto y, por consiguiente, con menores defensas.

Debido a que la gente ha presentado erupciones en la piel como consecuencia posible del baño (Figura 3), se requiere complementar el presente estudio evaluando el riesgo a la salud por la vía de la piel, para determinar si el contacto constante con esta agua efectivamente provoca afectaciones a la salud al ser absorbidos los contaminantes a través de la dermis, poniéndose en contacto con los órganos del cuerpo humano.

El impacto del lixiviado del basurero municipal de Mérida no es evidente más allá de un kilómetro de distancia del sitio; entonces, ocurre dilución y biodegradación en la pluma de contaminación conforme migra gradiente abajo.

Figura 3. Niño con problemas dermatológicos por posible contacto con el agua subterránea



Se está dando un proceso de atenuación natural en el sistema acuífero como consecuencia de las grandes recargas habidas durante el período de precipitación pluvial, principalmente por el paso de huracanes en la zona.

Es preciso adoptar acciones de remedio y control lo más pronto posible. Entre las medidas de control que se sugieren en el presente estudio están las siguientes:

- Aunque el sitio se encuentra cerrado, se debe evitar que se continúen depositando residuos sólidos en el basurero de la ciudad de Mérida.
- Evitar que se descarguen aguas de cualquier procedencia, incluso las de drenaje de la ciudad, ya que estas descargas propician la generación de los lixiviados.
- Colocar ventilas en el cerro de basura, con el objeto de que los gases que se producen en el interior de éste puedan escapar al exterior y no sean incorporados al lixiviado; así se evita una mayor contaminación del agua subterránea.
- Colocar una cubierta de suelo protector de conductividad hidráulica baja, para evitar que el agua pluvial continúe infiltrándose en el terreno tras lavar los residuos sólidos presentes en el cerro, incorporando a su cuerpo los contaminantes presentes en éstos y recargando al acuífero con los lixiviados generados de esta manera. Puede utilizarse una combinación de geomembrana y capas de arcilla para incrementar la eficiencia de la cubierta final. Con esto se cumpliría el objetivo de minimizar la

Figura 4. Vista de la entrada principal del ex-basurero municipal de Mérida, actualmente cerrado



infiltración del lixiviado en el subsuelo debajo del basurero, eliminando el potencial de contaminación del agua subterránea. Para que esta solución sea efectiva, es preciso instalar un sistema colector de las aguas que escurren en el cerro, mismo que ha de colocarse en el perímetro de éste, con la finalidad de que capte el agua de la lluvia y la conduzca a un sitio para su posterior disposición.

- Continuar los estudios relacionados con la contaminación del acuífero en la zona, enfocándose a la determinación de la carga de contaminantes generada por las lagunas de oxidación.
- Adoptar las medidas de control adecuadas, para evitar que la contaminación se extienda aún más en el acuífero.

Dado que el basurero ya ha sido cerrado al ingreso de desechos (Figura 4), lo conducente para reducir los constituyentes en el lixiviado sería dejar que un proceso activo, natural en el sistema disminuya las concentraciones a niveles mínimos de importancia. Si el sistema natural es capaz de inmovilizar a los contaminantes que emanan del sitio de disposición disminuyendo las concentraciones disueltas a niveles mínimos, entonces el sistema se remediará por sí mismo con éxito.





ZACATECAS

ESTADO Y CONSERVACIÓN DEL PINO AZUL (*PINUS MAXIMARTINEZII*) Y SUS ESPECIES ASOCIADAS EN LA SIERRA DE JUCHIPILA, ZACATECAS¹

Raúl René Ruiz Garduño, M. Márquez M., R. D. Valdez C., F. Blanco M. y J. C. Ledesma M.²

► Introducción

El pino azul (*Pinus maximartinezii* Rzedowski) es una conífera rara, en peligro de extinción (NOM-059-ECOL-2001, DOF, 2002), que únicamente se desarrolla en estado natural en el Cerro de Piñones y áreas circunvecinas ubicadas en la parte oriente de la comunidad de Pueblo Viejo, en el municipio de Juchipila, Zacatecas. La distribución natural de esta especie es muy restringida y aparentemente nunca se ha extendido más allá de los límites actuales de distribución (Balleza, 2000, López 1998). Se encuentra en grupos o de manera aislada con individuos de porte variable que no superan los 10 metros de altura.

Esta especie representa un paleoendemismo acentuado por su reducida área de dispersión. La legislación ambiental nacional la ubica en peligro de extinción debido a la alteración entrópica del medio natural donde se desarrolla.

Actualmente gran parte del bosque original de *Pinus maximartinezii* Rzed. está deforestado porque esos terrenos se habilitaron para la producción agrícola. La población

¹ Proyecto FOMIX: ZAC-2003-C01-0065

Monto aprobado y total: \$165,000.00

² Profesores Investigadores de la Universidad Autónoma Chapingo, *Campus Zacatecas*.



de pino que no se eliminó y ha logrado sobrevivir es muy baja, localizándose únicamente sobre cañadas y terrenos con pendientes fuertes; esos lugares no se deforestaron porque las condiciones del terreno imposibilitaban practicar la agricultura. En la actualidad la mayor proporción de las tierras que se utilizaban para agricultura han vuelto a su aptitud original; sin embargo, los pocos ejemplares de pino que se distribuyen en el terreno continúan sometidos a fuertes presiones, pero ahora por el ganado que pastorea en el área de manera inadecuada la mayor parte del año. De forma similar los incendios forestales ocasionales y la recolección de semillas que se realiza de forma inapropiada en algunos predios también contribuyen al deterioro de los recursos naturales disponibles dentro del área de distribución del pino, al punto que el hábitat de esta especie se encuentra seriamente amenazada por la persistente erosión del suelo ocasionada por las acciones anteriores.

► Demanda específica que atiende el proyecto

La población del *Pinus maximartinezii* Rzed. continúa sometida a fuertes presiones por las actividades productivas que se desarrollan en su entorno. No se conoce con precisión el área de distribución, su estado de conservación ni las alternativas para su preservación. No obstante de estar catalogada como una especie en peligro de extinción, y sobre la cual se ha realizado una gran cantidad de investigaciones, tanto por científicos mexicanos como provenientes del extranjero, aún falta profundizar en tres campos fundamentales:

- I. Las profundas transformaciones que ha sufrido el hábitat donde evolucionó y se conservó esta especie que, según Rzedowski (1964), representa un paleoendemismo acentuado (Arteaga *et al.*, 2000); estas transformaciones del hábitat han obedecido a razones de carácter histórico y socioeconómico de origen nacional, regional y local, y durante las últimas tres décadas tienen relación con cuestiones de carácter global.
- II. Al *Pinus maximartinezii* Rzed. se le ha tratado de entender como una especie aislada, sin profundizar el conocimiento sobre el ecosistema en que se encuentra, a lo sumo se propone conservar su hábitat, pero no se entiende que sin una perspectiva integral, no se puede incidir en lo concreto, y que lo más importante es atender las necesidades de los propietarios del recurso para que puedan conservarlo.
- III. No se ha tomado en consideración el papel fundamental que desempeñan los sujetos sociales que mantienen relación directa o indirecta con la existencia, conservación y aprovechamiento del entorno dentro del cual se localiza la especie de interés, que cubre una superficie mucho más reducida de cuanto lo han venido diciendo los estudiosos de la misma.

Durante 43 años se han realizado investigaciones que no han logrado incorporar a los propietarios de los terrenos donde se desarrolla la especie. Han sido considerados como espectadores y se han formulado distintas propuestas para la conservación sin que se haya puesto en marcha una sola; a los dueños del recurso se les ha minimizado y hasta considerado como irresponsables por no proteger y conservar al *Pinus maximartinezii* Rzed., mas nunca se han propuesto programas viables en donde el elemento central sea el propietario. Se han propuesto medidas unilaterales como excluir la ganadería de la que viven los dueños de los terrenos; se ha intentado penalizar a quienes venden la semilla a nivel local, pero a nivel nacional e internacional, el valioso germoplasma sigue circulando sin control alguno, y sin que ninguna instancia gubernamental ponga freno a los mecanismos de especulación que se fomentan en el mercado negro.

Por lo anterior se consideró necesario revisar cuanto se ha realizado hasta ahora en relación con el *Pinus maximartinezii* Rzed. y colocar en el centro del estudio a sus propietarios, al ecosistema y a las medidas que tengan que llevarse a cabo para convertir a este valioso y único recurso genético en oportunidad para el mejoramiento de la calidad de vida de sus propietarios; consiguiendo esto, la protección, restauración y conservación del ecosistema del pino vendrá por añadidura.

En la perspectiva de contribuir para el mejor conocimiento del estado de conservación del *Pinus maximartinezii* Rzed. y sus especies asociadas, para proponer medidas encaminadas a la protección, restauración, y conservación del ecosistema donde éste se desarrolla, es que se propuso realizar la presente investigación.

► Objetivo general

Determinar el estado y conservación del *Pinus maximartinezii* Rzed. mediante el análisis de su población.

► Descripción del desarrollo del proyecto

1. Ubicación y descripción geográfica del área de estudio

La zona de estudio fue el área donde se distribuye de manera natural el *Pinus maximartinezii* Rzed., la cual se ubica en el Cerro de Piñones y áreas colindantes, localizadas al oeste de Pueblo Viejo, Juchipila, Zacatecas. Pertenece a la subprovincia fisiográfica Sierras y Valles Zacatecanos, de la provincia Sierra Madre Occidental (SPP, 1981). Su ubicación geográfica se encuentra en las coordenadas extremas 103°12'-103°15' W y 21°19'-21°23' N (Ruiz *et al.*, 2007).

2. Delimitación del área de distribución natural del *Pinus maximartinezii* Rzed.

El polígono del área de distribución natural del *Pinus maximartinezii* Rzed. se delimitó con base en ortofotos, escala 1:20,000 y mediante recorridos de campo. El resultado indica que esta especie se distribuye en una superficie de 2,712 has, en fragmentos y/o individuos dispersos que en conjunto cubren una área de 62 has.

3. Contexto ecológico

Para caracterizar el componente ecológico del medio natural donde se distribuye el *Pinus maximartinezii* Rzed. se construyó un Sistema de Información Geográfico que incluye entre algunos de sus principales elementos, los que a continuación se describen:

Condición fisiográfica. Los paisajes donde se encuentra la mayor extensión de superficie que contiene *Pinus maximartinezii* Rzed. son principalmente laderas extremada, fuerte y ligeramente inclinadas, localizadas en zonas de acantilados, barrancos, escarpe o talud, así como en cauces de arroyos que se ubican en zonas de laderas fuertemente inclinadas. El rango de altitud en el que crece y desarrolla el pino va de los 1,700 a los 2,540 msnm.

Condición geológica. Los terrenos donde existen fragmentos de *Pinus maximartinezii* Rzed. se encuentran formados por un material geológico de roca ígnea de tipo toba.

Condición climática. El área de distribución natural del *Pinus maximartinezii* Rzed. presenta tres grupos climáticos: semicálido, semiárido y templado. La mayoría de la superficie con pino (39.45%) se encuentra distribuida en clima de tipo semicálido-cálido subhúmedo, le sigue el clima semiárido (34.47%) y finalmente el templado subhúmedo (26.08%). Esto lleva a establecer que el clima más favorable para el desarrollo de esta especie es el semicálido-cálido subhúmedo, y el menos propicio es el de tipo templado subhúmedo. Sin embargo, se cree que las áreas donde existió una mayor superficie de esta especie fueron las de clima templado subhúmedo, y que fueron deforestadas porque eran las áreas con las mejores condiciones para el establecimiento de los cultivos agrícolas.

Condición edáfica. En 74.86% de la superficie con fragmentos de *Pinus maximartinezii* Rzed. está presente el tipo de suelo Feozem háplico con una subunidad de Leptosol y textura media. En segundo lugar está el Leptosol con Feozem háplico de textura media que ocupan 9.97% del área con pino. Asimismo, puede decirse que el tipo de suelo más propicio para el crecimiento y desarrollo de esta especie es el Feozem háplico de textura media. Esta unidad de suelo se caracteriza por encontrarse en varias condiciones climáticas, desde zonas semiáridas hasta templadas o tropicales muy lluviosas, así como en diversos tipos de terrenos, desde planos hasta montañosos; por la clase de textura que tiene este suelo presentan menos problemas de drenaje, aireación y fertilidad.

La erosión hídrica con pérdida del suelo superficial afecta 19.97% del área de distribución del pino, el nivel de afectación es ligero y las principales causas son la deforestación y remoción de la vegetación (actualmente en proceso de recuperación) y las actividades agrícolas.

Tipos de vegetación. En 49.93% de la superficie con *Pinus maximartinezii* Rzed., esta especie está asociada al bosque de latifoliadas, principalmente *Quercus spp.* Se ha constatado que la función que desempeña este tipo de especies y otras más, es servirle al pino como facilitador en su crecimiento y desarrollo. El matorral inerme es la segunda comunidad vegetal en importancia donde está presente el pino.

4. Contexto histórico y social

Contexto histórico. El proceso socio-histórico que ha llevado al ecosistema *Pinus maximartinezii* Rzedowski al estado en que se encuentra, puede resumirse así:

En la época precolombina, la cultura caxcana dominó el territorio del cañón de Juchipila y en particular los terrenos forestales donde crece el pino. Es a finales del siglo XVI cuando los españoles conquistaron la región.

En el periodo de la corona española, la existencia del pino piñonero fue reportada por Don Alonso de la Mota y Escobar en 1605 en una de las relaciones que le envió a Don Pedro Fernández de Castro, Marqués de Sarria, Conde de Lemos y Andrade, presidente de todos los Estados de las Indias Orientales y Occidentales de la Real Corona de Castilla. El hecho de que desde este tiempo se tengan reportes de la existencia del pino piñonero y las características de sus semillas, es porque constituía un recurso natural de importancia para la población nativa de ese entonces.

A finales del siglo XVII los pinos piñoneros seguían siendo de interés para los naturales del pueblo de Juchipila y se vieron en la necesidad de comprar tierras realengas que habían sido dadas en merced a Hernán Flores de la Torre; comprar las tierras y hasta pagar impuesto por ello, era algo que les convenía, dado que habían venido aprovechando el piñón desde época muy antigua.

Así, a principios del siglo XIX las tierras con *Pinus maximartinezii* Rzed. estaban en poder nuevamente de los naturales de Juchipila, se utilizaban para la crianza de animales, no se cultivaban y no estaban ni en arrendamiento ni en aparcería porque eran propiedad legítima de los indios de Juchipila.

Después, se desconoce qué pasó con los cambios de propietarios y con las actividades desarrolladas en los terrenos de interés hasta principios del siglo XX. Es evidente que

entre 1804 y 1910 se volvió a dar otra reconfiguración en la propiedad de la tierra entre los pueblos indígenas y los descendientes de los españoles, porque siempre estuvo en disputa el dominio de la posesión del territorio.

Es a partir de 1920 cuando empieza a intensificarse la intervención directa del hombre sobre el área de distribución del *Pinus maximartinezii* Rzed. mediante la realización de desmontes y aclareos para la práctica de la agricultura de subsistencia. Esta actividad se realizó en todos aquellos espacios en los que el suelo era favorable para el cultivo, y lo mismo se trabajó con yuntas que con coa para establecer “coamiles”. En aquellas áreas en donde había suelo de regular calidad, y también pinos, éstos fueron eliminados para dar paso a cultivos de maíz y de frijol.

La agricultura se desarrolló fuertemente entre los años 1920 y 1960, para luego empezar a disminuir de manera paulatina. Al irse abandonando la agricultura, la presión disminuyó, pero no del todo, porque entonces las tierras fueron utilizadas para la crianza de ganado bovino en libre pastoreo, lo que dificultó la regeneración natural del bosque, proceso que hubiera de haberse esperado al dejar las tierras incultas.

Contexto social. El crecimiento demográfico en la región ejerció presión sobre los terrenos con pino, y conforme se avanzó durante el periodo posrevolucionario se hizo más intensa hasta finales de los años setenta. Este proceso se manifestó deforestando más tierras para abrir espacios al cultivo de maíz y frijol para el autoconsumo.

Durante la época en la que hubo la mayor cantidad de población en las tierras con *Pinus maximartinezii* Rzed., se cosechaba toda la semilla que producía el pino. También existió un sistema de aparcería mediante el cual los más pobres recolectaban los conos y extraían los piñones, y los propietarios de la tierra realizaban el reparto. Hubo épocas durante las cuales se llegaron a moler las semillas del piñón para hacer tortillas que consumían los medieros. Por su parte, los propietarios la vendían en Juchipila, Moyahua o en Guadalajara.

La deforestación para abrir tierras a la agricultura indujo un cambio en la vegetación donde crece el *Pinus maximartinezii* Rzed. En la actualidad, se estima que más de 80% de la vegetación original del estrato arbóreo fue eliminada para abrir los terrenos a la agricultura. Al abandonar las prácticas agrícolas, comenzó el proceso de regeneración natural del bosque, sólo que este proceso ha sido muy lento y se ha visto obstaculizado por los incendios forestales y por el sobrepastoreo, a tal grado que la vegetación secundaria no cubre toda el área que fue deforestada, por lo que existen espacios desprovistos de vegetación y expuestos de manera permanente a los efectos de la erosión del suelo, ya sea hídrica o eólica.

El proceso de deforestación, seguido de las prácticas agrícolas, conlleva la pérdida de la fertilidad del suelo, debido a que por las pendientes pronunciadas y las lluvias se producen fuertes arrastres de suelo con materia orgánica que deja de incorporarse al suelo y, por lo tanto, la fertilidad decrece. Ésta es otra de las principales razones por las que se abandonó la agricultura en estos terrenos. Actualmente, este proceso se ha detenido en la mayor parte del bosque y sólo en pequeñas áreas desprovistas de vegetación está presente.

La erosión es un proceso que se establece inmediatamente después de que se talan los árboles; este fenómeno da origen al arrastre de suelo y nutrientes y a la formación de cárcavas. Éste fue un problema fuerte cuando se practicaba la agricultura, y aun años después. Sin embargo, actualmente está en proceso de reversión, debido a que el suelo se va cubriendo con vegetación secundaria y las áreas desprovistas de vegetación cada vez son menos, aunque aún está presente en sitios muy localizados.

En el presente, en toda el área de distribución natural del *Pinus maximartinezii* Rzed., así como en los espacios aledaños, predomina el uso pecuario bajo el sistema pastoril. El sistema pastoril que se practica es muy deficiente, pues carece de programa de pastoreo, el ganado pastorea libremente y en forma continua la mayor parte del año, de tal manera que no existe un período de recuperación del agostadero; la carga animal no se regula de acuerdo con el potencial forrajero del área, por lo que casi siempre es mayor la cantidad de animales a la capacidad de sustentación del ecosistema.

Toda la superficie donde se desarrolla el *Pinus maximartinezii* Rzed. es propiedad privada, existiendo dueños que pueden tener hasta 300 has, en tanto que otros apenas tienen diez. En la actualidad, existe cierta tendencia al fraccionamiento de las propiedades, al menos en algunos predios, por su reparto entre los descendientes de las principales familias que han sido las propietarias de estos terrenos durante los últimos ochenta años.

5. Estado de conservación del *Pinus maximartinezii* Rzed.

Para conocer el estado de conservación del pino en su medio natural, se levantó información en campo. Al interior del polígono que delimita la distribución espacial del *Pinus maximartinezii* Rzed. se establecieron 27 sitios de muestreo, con una superficie de 1000 m² (0.1 ha) cada uno, distribuidos dentro de los fragmentos de bosque de pino.

Población y densidad. En la superficie muestreada (2.7 has) se encontró un total de 372 individuos de *Pinus maximartinezii* Rzed. con diámetro a la altura del pecho (dap) ≥ 6 cm, esta población representa una densidad de 137.7 pinos por ha.

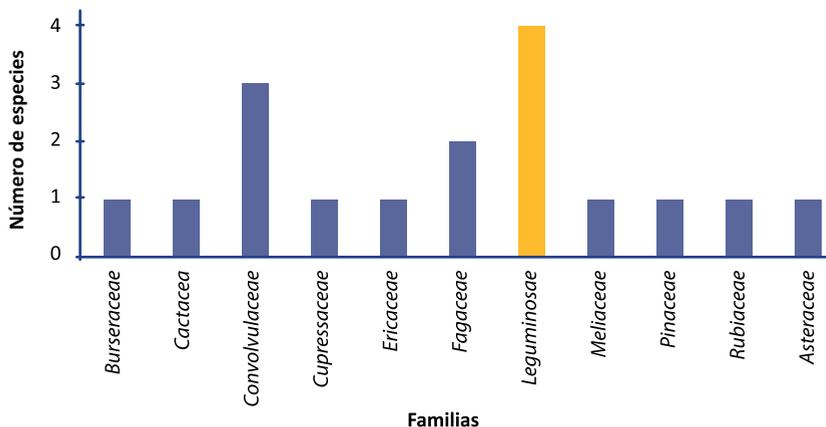
Regeneración natural. En el área muestreada de 2.7 has se localizaron 967 renuevos de *Pinus maximartinezii* Rzed. Estos ejemplares tenían un porte ≥ 25 cm y menor a 2.0 m y constituyen una densidad de 358.2 árboles por ha, además de que sólo en tres de los 27 sitios muestreados no se encontraron renuevos.

Estado físico. Con base en sus características físicas observadas en campo, en nueve sitios muestreados se encontró 100% de los pinos sanos; en 11 sitios, más de 90% de los pinos exhibieron una condición sana, y sólo en siete sitios se registró una proporción de entre 10 y 20% de pinos con algún daño físico. La característica única y común a todos los pinos que no se consideraron sanos obedeció a la presencia de daños causados por incendios que ocurrieron hace más de cinco años; sin embargo, actualmente exhibían franca recuperación.

Composición florística. Un total de 10 familias y 17 especies con dap igual o mayor a 6 cm, fue reportado en los 27 sitios de muestreo (2.7 has). El 27.3% de las familias representaron 52.9% de la especies; las familias *Leguminosae*, *Convolvulaceae* y *Fagaceae* fueron las más abundantes con cuatro, tres y dos especies respectivamente, en tanto que 72.7% de las familias registraron una sola especie (Figura 1).

Riqueza de especies. En el área muestreada se encontraron 17 especies arbóreas representadas por 801 individuos con dap ≥ 6 cm. Del total de especies, 29.4% registró un solo

Figura 1. Distribución de las familias de acuerdo con el número de especies en 27 sitios de muestreo (2.7 ha) del área de distribución natural del *Pinus maximartinezii* Rzed



individuo, mientras que tres especies (17.6%) concentraron 77.5% de los individuos; la especie *Pinus maximartinezii* Rzed. fue la que más destacó con 46.4% de los individuos registrados; le siguieron en importancia el encino colorado (*Quercus gentry*) y el palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), con 16.4% y 14.7%, respectivamente.

La comunidad vegetal del área de distribución natural del *Pinus maximartinezii* Rzed. presenta una diversidad y composición florística que puede considerarse adecuada para un ecosistema de bosque fragmentado, donde la intervención humana deforestó grandes extensiones y sólo quedaron pocos árboles en terrenos con fuertes pendientes. Además, es de señalarse que la comunidad vegetal en su conjunto presenta una buena tasa de recuperación, pese a que continúa la presión que ejerce la ganadería bovina, a considerar por el desarrollo de la vegetación secundaria que está cubriendo la mayor proporción de la superficie en estudio.

► Productos entregados

Derivado de las actividades que se desarrollaron en el proyecto, se obtuvieron dos productos mismos que se entregaron a FOMIX:

- Un Sistema de Información Geográfica (SIG) que integra diversas coberturas y sus bases de datos de mapas temáticos de: a) Topografía, b) Geología, c) Tipos de suelo, d) Usos del suelo y tipos de vegetación, e) Climas, f) Áreas de conservación y aprovechamiento, y g) Áreas de riesgo y amenazas.
- Un documento técnico con el diagnóstico del estado de conservación del pino azul (*Pinus maximartinezii*) en el que se da cuenta de su medio natural, así como la problemática ambiental que afronta.

► Conclusiones

El área donde se distribuye de manera natural el *Pinus maximartinezii* Rzed. abarca una superficie de 2,712 has.

Se confirma que el *Pinus maximartinezii* Rzed. es una especie microendémica en peligro de extinción, y de no emprenderse acciones tendentes a su protección y conservación, tanto por parte de las instancias gubernamentales vinculadas al desarrollo y a la protección del medio ambiente, como por parte de sus propietarios, posiblemente el riesgo de extinción se incremente.

La comunidad vegetal del área de distribución natural del *Pinus maximartinezii* Rzed. presenta una diversidad y composición florística que se considera adecuada para un

ecosistema de bosque fragmentado, donde la intervención humana deforestó grandes extensiones y sólo quedaron pocos árboles en terrenos con fuertes pendientes.

La regeneración natural del *Pinus maximartinezii* Rzed. en el área muestreada, dentro de su área de distribución natural, se considera regular, aspecto que puede favorecer en forma importante la recuperación natural del pino, siempre y cuando no se presenten fuertes disturbios como sería el caso de un incendio forestal.

En virtud de lo anterior, y por tratarse de fragmentos de bosque con *Pinus maximartinezii* Rzed., el área de distribución natural de esta especie, constituye un sitio ideal para la conservación y protección del banco de germoplasma y estabilidad misma del bosque regional; además, es la fuente de semilla para áreas aledañas, donde se está dando el proceso de recuperación natural a través de la sucesión, o bien en sitios desnudos donde apenas se inician procesos de colonización.

Por todo lo anterior, se recomienda considerar al área de distribución natural del *Pinus maximartinezii* Rzed. y sus inmediaciones como un ecosistema de al menos 5,000 has sujeto a la protección ambiental que consagra la legislación mexicana en materia de recursos naturales, en el que deben aplicarse las siguientes propuestas:

- I. Establecer el manejo silvopastoril.
- II. Creación del mercado legal para comercializar la semilla del *Pinus maximartinezii* Rzed.
- III. Establecer un programa de pago por servicios ambientales con énfasis en la biodiversidad.
- IV. Crear un área natural protegida en la modalidad de protección de flora y fauna.

Agradecimientos

Al FOMIX CONACYT-ZAC-2003-C01, por el financiamiento parcial del proyecto con clave: 0065, cuyos resultados han servido en parte para elaborar este artículo.

Bibliografía

Arteaga-Martínez, B., H. García-Rodríguez y J. G. Rivera-Medrano (2000). *Piñón Grande Pinus maximartinezii* Rzedowski. Chapingo (México), División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 134pp.

Balleza, C. J. J. (2000). "Flora del Cerro de Piñones, Juchipila, Zacatecas, México". *Informe final del Proyecto L114*. CONABIO-Universidad Autónoma de Zacatecas, Facultad de Agronomía, Zacatecas, México.

Diario Oficial de la Federación. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México, D. F.

López, M. L. 1998. "Regeneración, crecimiento y dinámica poblacional del pino azul *Pinus maximartinezii* Rzedowski". Resumen del proyecto de investigación H140. CONABIO-Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, México.

Rzedowski, J. (1964). "Una especie nueva de pino piñonero del Estado de Zacatecas (México)". *Ciencia*, México, DF. XXIII, pp. 17-24.

Ruiz-Garduño, R. R., M. Márquez-Madrid, R. D. Valdez-Cepeda, F. Blanco-Macías y V. G. Pérez-Pérez (2007). "Ordenamiento Territorial y Aprovechamiento de los Recursos Naturales: El Ecosistema del *Pinus maximartinezii* Rzed. en Juchipila, Zacatecas". Memorias en Disco Compacto del IV Congreso Internacional de Ordenamiento Territorial. Del 13 al 16 de noviembre de 2007. San Luis Potosí, SLP.

SPP (1981). *Síntesis geográfica de Zacatecas*. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.



CIENCIA EN TODOS LOS RINCONES¹

Miguel García Guerrero,² L.C.C. Bertha Gpe. Michel Sandoval, Ing. Antonio Villarreal Álvarez, I. en C. Miguel Ángel Manzanares Arroyo, Fís. Ninfa Navarro López, Édgar Arturo Ramos Rambaud y Viridiana Esparza Manrique.

► Introducción

La ciencia representa un rasgo característico de nuestro mundo en la actualidad; uno de los actores protagónicos en el escenario de los tiempos modernos.

Pese a esta indiscutible trascendencia, la esencia de la actividad científica sigue siendo un agente oculto para la mayoría de las personas. La falta de conocimiento público sobre la ciencia y la forma en que incide en nuestras vidas, tanto a nivel macro como micro, constituye una ironía sumamente representativa de la cultura moderna.

“La ciencia es uno de los rasgos esenciales, un producto típico de los tiempos modernos. Ha crecido aceleradamente en años recientes y cada día influye más en la vida cotidiana. La forma en que la ciencia ejerce esta influencia no es clara para la mayoría de la gente y lo que se ha logrado con la investigación científica es prácticamente desconocido. Casi nadie duda que la ciencia es importante aunque sólo unos cuantos puedan dar razones para poner en claro tal importancia.” (Estrada, 2002)

¹ Proyecto FOMIX: ZAC-2005-01-16486

Monto aprobado y total: \$550,000.00

² Del Museo de Ciencias de la Universidad Autónoma de Zacatecas.



La divulgación científica intenta recontextualizar la ciencia y sus conocimientos de forma pertinente con la realidad de las personas a las que se dirige. Así, se busca que las personas desarrollen conocimientos, habilidades y actitudes capaces de acercarlos a la ciencia para entenderla y dimensionar su importancia.

Antecedentes

El 11 de octubre de 1983 abrió sus puertas al público el Museo de Ciencias de la Universidad Autónoma de Zacatecas. El Museo inició como un intento por rescatar y dar a conocer un gabinete de física, traído de Francia en el siglo XIX por José Árbol y Bonilla. Como sus exhibiciones ofrecían una interacción muy limitada con los visitantes, el Museo desarrolló desde un inicio actividades complementarias para acercar la ciencia al público: conferencias, proyecciones y publicaciones.

A partir de 1990 se iniciaron los talleres de ciencia recreativa a través del Club Infantil de la Ciencia; en este programa –que sigue trabajando hasta la fecha– se usan experimentos y demostraciones para conseguir que niños y jóvenes entiendan principios científicos.

Para 2001, el Museo impulsa la formación de Quark, un grupo de divulgación que sigue trabajando hasta la fecha. Está integrado por jóvenes voluntarios dedicados a realizar actividades científicas divertidas para el público no especializado. El principal enfoque del Grupo son los talleres recreativos, aunque también se realizan conferencias, cursos y artículos de divulgación. Quark realiza constantemente actividades en el Club Infantil de la Ciencia, escuelas, eventos académicos y en múltiples municipios de Zacatecas; así mismo se ha impulsado la creación de dos nuevos clubes: uno de lectura de ciencia y otro de astronomía para aficionados.

Desde el inicio de las actividades del Museo de Ciencias, en la década de los ochenta, y posteriormente en colaboración con el Grupo Quark, ha sido una prioridad para nuestro grupo de trabajo llevar actividades de ciencia recreativa a los municipios del estado de Zacatecas. Sin embargo, para una entidad con más de 1.3 millones de habitantes, distribuidos en 58 municipios con una superficie total de 75,416 km² no es sencillo que un reducido equipo de trabajo –integrado por 5 docentes y 45 voluntarios– sea capaz de dar la cobertura mínima necesaria en cuanto a actividades de divulgación y educación científicas.

Motivos

Actualmente, la brecha que existe entre ciencia y sociedad representa un gran problema: “la ciencia es una parte oculta de la cultura contemporánea y es necesario corregir esta anomalía.” (Estrada, 2002)

La situación es especialmente grave para el caso de los municipios. Generalmente los esfuerzos de divulgación están centrados en las grandes ciudades. En México la mayoría de las actividades se realizan en el Distrito Federal y en todas las entidades restantes existe una fuerte carga hacia las capitales estatales.

A través de las actividades llevadas a cabo por el Museo de Ciencias y el Grupo Quark en los municipios, pudimos constatar dos cosas: la ausencia casi total de divulgación de la ciencia en las comunidades y un ávido interés por los temas científicos. Al concluir nuestras visitas comúnmente nos encontramos con una pregunta recurrente: “¿Cuándo regresan?”

No es sencillo responder esto. Resulta complicado comprometerse a regresar a un mismo lugar cuando aún existen muchas comunidades que nunca hemos visitado. Somos un equipo de 50 personas intentando dar cobertura a un estado con un gran territorio y una gran dispersión de población, a la vez que tratamos de no descuidar los programas que realizamos en la capital.

Era necesario implementar otra estrategia, buscar una alternativa para poder llevar las actividades de ciencia divertida a gran parte de nuestro estado y, al mismo tiempo, poder formar equipos capaces de ampliar la cobertura de la divulgación científica en Zacatecas.

Ciencia en Todos los Rincones

Con esto en mente, se planteó un proyecto a los Fondos Mixtos del CONACYT y el Gobierno del Estado de Zacatecas. La propuesta consistía en crear una Sala Científica Móvil, espacio de aprendizaje lúdico comprometido a visitar 18 municipios con estadías de un mes.

Desde un inicio se contempló involucrar a jóvenes locales para hacerse cargo de las actividades. Esto se determinó en función de dos objetivos:

1. Darle pertinencia a las exhibiciones, proyectarlas sobre la realidad local.
2. Estimular la formación de núcleos de divulgación en sus comunidades.

Como el nombre del proyecto lo indica, nuestra intención era llevar la ciencia a todos los rincones de nuestro estado y, al mismo tiempo, mostrar que podemos encontrarla en todos lados, no sólo en laboratorios o museos.

En septiembre de 2006 el proyecto fue aprobado e iniciamos las actividades en noviembre del mismo año. El equipo de trabajo se integró con un perfil interdisciplinario, incluyendo a investigadores, divulgadores, comunicadores y museólogos. Para el desarrollo

de las actividades resultó fundamental el aporte voluntario de los integrantes del Grupo Quark, quienes participaron de forma activa en la conceptualización, diseño, construcción y mantenimiento de las exhibiciones utilizadas en el proyecto, así como en la capacitación de los guías que le dieron vida a la Sala Científica Móvil.

► **Demanda Específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal**

Mejoramiento del rendimiento educativo en el estado en ciencias en educación básica y media.

► **Objetivo General**

Impulsar el desarrollo de actividades de divulgación de la ciencia capaces de apoyar la educación científica en los niveles básico y medio de los municipios del estado de Zacatecas.

► **Descripción del desarrollo del proyecto (proceso y beneficios)**

La Sala Científica Móvil, creada en el proyecto, fue llamada ‘Fantástica’, en alusión al viaje fantástico que ofrecería a sus visitantes. El trabajo para darle vida a Fantástica se desarrolló en tres etapas: conceptualización, diseño y construcción.

Se decidió llevar a los participantes a un viaje través de las diferentes escalas físicas de nuestro Universo. El inicio se ubicó en los quarks, que son junto a los electrones las partículas más pequeñas que conocemos, y al avanzar las exhibiciones abordan fenómenos de un tamaño cada vez mayor hasta cerrar el recorrido con las estructuras más grandes conocidas: los supercúmulos de galaxias.

Originalmente se consideraron 50 modelos para la construcción de exhibiciones; finalmente la lista se redujo a 24 que abordan los siguientes temas: física cuántica, electromagnetismo, termodinámica, mecánica, matemáticas, acústica, óptica y astrofísica.

Gran parte de las exhibiciones usadas son aparatos clásicos en la divulgación como la esfera de plasma, el giroscopio o la cámara de niebla. También se tomaron “prestadas” actividades desarrolladas por otros grupos de divulgación mexicanos y se construyeron tres modelos originales, diseñados por completo por el grupo Quark y el Museo de Ciencias (los referentes a la física del átomo).

Para construir los aparatos se buscó usar materiales sencillos y comunes; la idea esencial fue facilitar al máximo la reproducción de los modelos para estimular la réplica de las actividades en escuelas y centros culturales. Los aparatos se construyeron con hierro, o



bases de ese material, para garantizar su resistencia a los constantes viajes de que serían sujetos. De igual manera las bases de la museografía se hicieron de este material y los elementos gráficos se incorporaron a través de lonas impresas.

Tras 6 meses de trabajo, Fantástica estuvo lista e inició sus actividades con el público el 29 de mayo de 2007 en el municipio de Fresnillo, el segundo más importante del estado después de la capital.

La vida en el camino

La Sala ya existía físicamente, pero aún hacía falta establecer las condiciones para darle vida: conseguir sedes, establecer colaboraciones locales y, sobre todo, reclutar y preparar a los guías, encargados de llevar a cabo todas las actividades. En cada municipio se llevaron a cabo varios procesos para hacer posible la labor de Fantástica.

Gestión

Inicialmente se estableció contacto con las autoridades municipales, encargadas de proveer la sede para instalar Fantástica, programar las visitas de grupos escolares y apoyar con recursos para solventar los gastos de traslado, mantenimiento y capacitación asociados a la Sala.

En principio, nuestra perspectiva fue muy ingenua: contemplábamos trámites expeditos en los municipios para darle agilidad al trabajo. Aunque no se presentó un solo ayuntamiento que rechazara la visita de Fantástica, en muchos casos la gestión se convirtió en un proceso que retrasó el desarrollo del proyecto.

Reclutamiento

Una vez que se garantizaron los apoyos necesarios para llevar la Sala al municipio, se realizaron visitas a instituciones de educación media superior para invitar a los estudiantes a participar en el proyecto. En promedio, en cada comunidad se integraron equipos de entre 12 y 15 jóvenes. Esto excedió considerablemente las expectativas originales, se tenía proyectado involucrar un promedio de 6 a 8 personas por municipio.

Capacitación

Previo al inicio de actividades con el público, y con las exhibiciones de Fantástica debidamente instaladas, se dedicó una semana a capacitar a los guías de la Sala. En este proceso el personal de Quark y el Museo de Ciencias los preparó en cuatro niveles: concientización, metodología, conocimientos y operación.

El primer proceso busca que los guías tengan bien claros la importancia y los objetivos de la labor que van a realizar. La metodología se refiere a la forma de realizar los recorridos y las actividades con los visitantes. Los conocimientos implican la apropiación de los principios científicos inherentes a las exhibiciones. La operación contempla los procedimientos necesarios para el buen desarrollo de las actividades.

Ejecución

Al concluir la capacitación, los guías de cada municipio asumieron la responsabilidad de operar Fantástica; sin embargo, se les ofreció un apoyo constante. Una vez que la sala estaba operando en un municipio, se realizaron visitas periódicas de supervisión, asesoría y mantenimiento una o dos veces por semana.

Seguimiento a grupos

Fantástica representó una valiosa herramienta para conseguir que las personas en los municipios se interesen por la ciencia y busquen participar en actividades de divulgación. Así mismo, se convirtió en un gran soporte para las actividades de educación científica desarrolladas en los planteles locales de educación básica, media básica y media superior. Todas estas actividades tuvieron como resultado un gran interés por las actividades de divulgación científica; sin embargo, la Sala que llevó la divulgación de la ciencia al municipio estaba a punto de partir.

Para aprovechar el entusiasmo generado, era necesario establecer una oferta permanente de actividades científicas para el público local. Una vez concluido el trabajo de Fantástica, se procedió a brindar los elementos y el apoyo para que los guías formaran su propio grupo de divulgación.

Originalmente se contempló que, con la experiencia desarrollada en Fantástica, los guías tomarían la iniciativa para mantener activo su grupo. La realidad no fue tan benéfica: de 12 grupos formados sólo 5 se mantuvieron activos 3 meses después de la salida de Fantástica y actualmente sólo 3 siguen trabajando. El análisis de los diferentes casos indica 3 elementos clave que incidieron en la permanencia de los grupos:

- a. Apoyo institucional. Los grupos necesitan de materiales y una sede para realizar sus actividades. Para contar con estos elementos las instituciones, como escuelas o centros culturales, juegan un rol fundamental. Casi todos los grupos activos consiguieron asociarse a una organización para apoyar su labor.
- b. Acción inmediata. En casi todos los casos, la conclusión de actividades de Fantástica encuentra a los guías con un gran ánimo para mantenerse activos en procesos de divulgación. Esto es muy útil cuando consiguen poner manos a la obra rápidamente.

Sin embargo, muchos grupos no consiguen hacerlo, les hace falta iniciativa o una idea de cómo arrancar sus actividades como grupo.

- c. Metas definidas. Los grupos que se plantearon objetivos bien definidos y asequibles en el corto plazo se mantuvieron activos, mientras aquellos que sólo querían seguir “por inercia” se apagaron rápidamente.

Para incrementar la permanencia de los grupos creados a partir de Fantástica, se requieren mecánicas para arrancar sus actividades y así dejarlos ocupados en su tarea de divulgación científica. Actualmente, como parte de un nuevo proyecto, se está construyendo un kit didáctico que servirá como eje para apoyar a los grupos que siguen trabajando, reactivar a aquellos que interrumpieron sus labores, formar nuevos núcleos en otros municipios y apoyar los procesos de educación científica formal en los diferentes educativos.

► Conclusiones y beneficios obtenidos

Fantástica estableció sus actividades en un total de 16 sedes: Fresnillo, Río Grande, Villanueva, Jalpa, Juchipila, Tlaltenango, Jerez, Valparaíso, Guadalupe, Villa González Ortega, Luis Moya, Zacatecas (como parte del Encuentro Nacional de Divulgación Científica), Villa de Cos, Pinos, Calera y Enrique Estrada. No se alcanzó el objetivo de visitar 18 municipios en el periodo acordado por el impacto negativo que tuvo la crisis sanitaria derivada de la Influenza AH1N1.

Se involucró a 200 personas como guías de las actividades de Fantástica, quienes fueron capacitadas de manera inicial para llevar a cabo actividades de divulgación. Sus esfuerzos impactaron directamente, a través de la Sala, a más de 30 mil personas.

► Conclusiones

La idea de este proyecto desde un inicio fue incrementar la cobertura de la divulgación científica en la entidad, no sólo de forma temporal con Fantástica, sino con una red permanente de núcleos de jóvenes divulgadores en los municipios. Así, con la idea de obtener un máximo provecho de todo el proyecto es fundamental aumentar el grado de permanencia de los grupos de divulgación en los municipios.

Para esto, actualmente se trabaja en el desarrollo de un kit didáctico, con materiales orientados a fortalecer a los grupos en activo y a estimular la reactivación de quienes no están trabajando. Se pretende usar este mismo kit para estimular a que profesores realicen procesos de divulgación como complemento a sus actividades académicas.



Un reto especial para los grupos establecidos es generar una oferta permanente y periódica de actividades científicas para el público no especializado de su localidad. Aprovechando el interés generado, debemos establecer las condiciones para que las personas se mantengan ligadas a la ciencia de forma cotidiana.

El gran reto que se enfrenta actualmente radica en articular la actividad de los grupos formados para crear una red de divulgadores en Zacatecas, capaz de impulsar el desarrollo de la ciencia recreativa en el estado. Al mismo tiempo, se pretende propiciar la interacción y retroalimentación de los grupos con el sistema educativo formal; para desarrollar una cultura científica generalizada en la entidad, es imprescindible la construcción de una sinergia entre los agentes educativos formales (profesores) y los no formales (divulgadores).

Bibliografía

Estrada, L. (2002). "La divulgación de la ciencia". En Tonda *et al.*, *Antología de la divulgación de la ciencia en México*. México, UNAM.

Flores, J. (1998). *Cómo hacer un museo de ciencias*. México, Fondo de Cultura Económica.

García, M. (2008). *Ciencia en todos los rincones. Manual de divulgación en talleres*. Zacatecas, Universidad Autónoma de Zacatecas.

García, M. (2009). *Los talleres de divulgación científica como agentes para el desarrollo de una cultura científica*. Buenos Aires, Universidad de Quilmes.



DESARROLLO DE UN NUEVO MÉTODO DE EXPLOTACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA MINERÍA A TRAVÉS DEL USO DEL PYROBLAST-C®¹

Alejandro Mantecón²

► Antecedentes

El uso de explosivos convencionales para la fragmentación de roca tiene como consecuencia la generación de algunos factores adversos como gases tóxicos, ondas de choque, vuelo de rocas y vibración. Estos factores incrementan sustancialmente el riesgo de daños o accidentes, por lo que la aplicación de explosivos convencionales en áreas urbanas no es, como puede deducirse, recomendable en todos los casos.

Con la finalidad de incrementar el control y la seguridad en la fragmentación de rocas en áreas sensibles por población, vivienda, tráfico vehicular, maquinaria y equipo, o por restricciones ambientales, reduciendo por ende el riesgo para las personas y bienes, se pensó en el desarrollo del dispositivo integrado con un iniciador electrónico y que tiene aplicación en minería y construcción.

¹ Este estudio se deriva del apoyo del Fondo Mixto CONACYT a PyroSmart México, SA de CV, con clave ZAC-2008-C01-109275, y se refiere a un dispositivo pirotécnico para la fragmentación de rocas que se activa de manera electrónica.

Monto aprobado y total: \$1,768,250.00

² De PyroSmart México, SA de CV.

► Descripción

Dispositivo pirotécnico industrial para la fragmentación de rocas en áreas sensibles con activación electrónica.

► Introducción

Existen varios tipos de explosivos industriales para la fragmentación de roca basados muchos en el nitrato de amonio como componente. Los explosivos convencionales son iniciados por una fuente de choque que genera suficiente energía para su reacción. Usualmente estos iniciadores o accesorios iniciadores están compuestos de penta eritritol de tetra nitrita (PETN o pentrita), por lo que su velocidad de detonación puede alcanzar rangos superiores a los 4,500 mts/seg.

Estos niveles de velocidad de detonación (VOD, *Velocity of Detonation* por sus siglas en inglés) tienen consecuentemente efectos adversos en ciertas aplicaciones como altos niveles de onda de choque, altos niveles de vibración, sobrefragmentación de roca, vuelo de partículas, ruido, gases y polvos.

¿Cómo trabaja el dispositivo?

Una vez que se ha realizado el barrenado en roca o concreto a una profundidad normal de 0.8 a 1.0 mts (aproximadamente 70% del tamaño de la roca), el dispositivo es insertado en el fondo del barreno. El dispositivo puede ser utilizado con una carga pírca desde 25 hasta 600 gramos, dependiendo del tipo de roca, profundidad del barreno, condiciones del entorno y tamaño de roca resultante deseada. Cuando el dispositivo es colocado en el barreno, es sellado con gravilla fina o asfalto a fin de sellar firmemente el barreno, evitando la pérdida de energía.

El dispositivo reacciona mediante una deflagración, es decir, una explosión isobárica con llama a baja velocidad de propagación, avanzando en el frente con una difusión térmica o una baja onda de choque y generando, en forma súbita, una gran cantidad de gases a relativa baja presión.

Los dispositivos pueden ser utilizados en forma individual, así como en 'rosario' dependiendo de la profundidad del barreno, tipo y formación de roca. El número máximo de dispositivos unidos en serie o paralelo dependerá de la profundidad del barreno y de los resultados en tamaño de roca resultante, tipo de fragmentación y desplazamiento que se espera de la liberación de energía. La unión de los dispositivos puede realizarse en una combinación de diferentes tipos de carga pírca para ajustarse a los parámetros de

Equipos eFuse para activación con periodos de retardo variables secuenciales eFuse 8 channels



factor de carga requeridos. Esto significa, como ejemplo, que pueden unirse dispositivos con diferentes combinaciones de carga pírca para el aporte energético requerido.

Es importante que las conexiones de cada iniciador electrónico en cada dispositivo estén conectadas al cable de alimentación, a fin de que cada dispositivo sea iniciado mediante la energía eléctrica, ya que los dispositivos no se accionan por medio de una onda de choque o por simpatía, lo que refuerza la seguridad en el uso y aplicación del dispositivo contra los métodos convencionales con uso de explosivos industriales.

El dispositivo pirotécnico fragmentador de roca de alta seguridad presenta nuevas y diferentes características para trabajos extractivos en roca de dureza mayor a 4.0 en la escala de Mohs en áreas sensibles.

De manera concreta las diferencias e innovaciones se exponen a continuación:

1. El dispositivo no contiene nitrato de amonio sino una mezcla de propelentes químicos con base en: perclorato de potasio, aluminio y ácido bórico. El dispositivo

no requiere para su iniciación ningún accesorio con contenido de penta eritritol de tetra nitrita (PETN o pentrita), como pueden ser fulminantes, cordones detonantes o dispositivos iniciadores no eléctricos con base en tubos de choque en sus distintas presentaciones.

2. El dispositivo incluye un iniciador electrónico que mediante un pulso genera una chispa y temperatura suficientes para activar los componentes químicos contenidos en el dispositivo.
3. Las características de empaque y del compuesto permiten que el dispositivo pueda ser degradado y desactivado mediante el contacto o saturación en agua en un periodo mayor a 24 hrs. Éste es un aspecto de extraordinaria importancia en el dispositivo y una valiosa diferencia comparativa, ya que incrementa el nivel de seguridad al permitir la inhabilitación de las propiedades químicas de la mezcla y el riesgo de los explosivos no activados en campo.
4. El dispositivo produce niveles de ruido de 80 a 85 dBl a 50 mts. de distancia en condiciones adecuadas de taqueo o confinamiento de barreno.
5. El dispositivo es un cilindro de cartón con medidas variables, tanto en su longitud como en su diámetro, que contiene una proporción variable de los componentes químicos descritos en esta sección, sellados en su extremo con un tapón de plástico adherido con una mezcla de solventes, principalmente tolueno y otro con una mezcla de pintura vinílica, gomas y tolueno. Entre el tapón superior y la carga pírca se tiene una sección aislante inerte de suma importancia para la manufactura segura del dispositivo que puede ser marmolina o caliza molida.
6. El efecto que produce la aplicación del dispositivo puede ser variado y depende del tipo de roca y condiciones geológicas y físicas de la misma, así como de la plantilla de barrenación usada. Para complementar la descripción que se va a realizar y con objeto de ayudar a una comprensión de las características del invento, se acompaña a la presente memoria descriptiva con un juego de planos, con cuyas figuras se comprenderán más fácilmente las innovaciones así como las características del dispositivo objeto de la invención. De igual manera se agrega la fórmula química única (Fórmula) y las características especiales del empaque.

Demanda específica que atiende el proyecto a nivel estatal o municipal

El proyecto responde a la necesidad de la industria de la construcción de contar con una tecnología que permitiera fragmentar roca de forma mucho más eficiente que la maquinaria (martillo hidráulico), y con una mayor seguridad que los altos explosivos, de forma tal que pudiera utilizarse en la fragmentación de roca al realizar obras de zanjeo para instalaciones hidráulicas, eléctricas, vialidades, etcétera, dentro de zonas urbanas o con cercanía a zonas habitacionales o lugares en donde se tenga la presencia de infraestructura o con restricciones ambientales.

En el área de la industria de la minería, el proyecto aporta grandes beneficios al sustituir a los iniciadores convencionales de los altos explosivos, ofreciendo todo un sistema electrónico que aporta mucho mayor seguridad, menor nivel de ruido, tiempos de retardo variables, programación, y sobre todo, a un costo inferior de lo que actualmente cuesta en el mercado.

El producto Pyroblast-C tiene una proyección no solamente estatal, sino nacional e internacional, dentro de ambas industrias.

Ventajas

El dispositivo tiene ventajas tangibles, medibles, útiles y sustentables en su aplicación, como son las siguientes:

- a. La incorporación de un iniciador electrónico.
- b. Mucha mayor seguridad que con los explosivos convencionales al no requerir iniciadores con base en PETN (penta eritritol de tetra nitrita o pentrita), que pueden accionarse mediante impacto.
- c. Mucha mayor seguridad que los explosivos convencionales al no ser iniciados mediante una onda de choque, lo que impide que disminuye el riesgo de iniciación no programada por simpatía.
- d. Menor onda de choque, ruido, vibración, vuelo de partículas, polvo y ruido que los explosivos convencionales basados en nitrato de amonio.
- e. Mayor control en la fragmentación de roca que con explosivos convencionales, pudiendo lograr líneas de fractura para contorno y precorte.
- f. Menores paros de operación en obra que con explosivos convencionales.
- g. Mucha mayor posibilidad de cargas y recargas y producción que con expansores químicos.
- h. Ninguna restricción por humedad o temperatura o barrenos con polvo que con expansores químicos.
- i. Mayor avance que con martillo hidráulico en rocas de dureza media y dura de 100 MPa en adelante.
- j. La posibilidad de inhabilitación del material, con fines de seguridad, mediante la saturación en agua en periodos mayores a las 24 hrs.

► Objetivo general

- Obtener un nuevo método para la fragmentación de roca en minería a través del desarrollo de un sistema confiable y útil.
- Una metodología para la aplicación confiable del producto.

- Una fuente de consulta que integrara la información sobre mediciones, pruebas de laboratorio, alcances, limitaciones, uso, medidas de seguridad, etcétera.
- Un sistema de ignición que proporciona una alternativa integral tanto para la iniciación de los altos explosivos en trabajos de extracción en minería, como del dispositivo Pyroblast-C .
- Un sistema de control de calidad basado en procedimientos que aseguren la adecuada utilización y aplicación del producto.
- Un método de costos para la valoración de las soluciones propuestas a través de la implementación o uso del sistema.
- Equipo técnico debidamente preparado para aplicar, asesorar y capacitar sobre el uso tanto del producto como del sistema de ignición integral.
- Pruebas de laboratorio con mediciones científicas al producto.

Consideramos que el proyecto concluye de forma exitosa, ya que logra aportar hoy una nueva tecnología en materia de fragmentación de roca pero, sobre todo, un sistema integral para la iniciación de altos explosivos y para el mismo producto PYROBLAST-C, sustituyendo cordones detonantes, iniciadores tradicionales con base en PETN y algunos accesorios, a un costo mucho más económico, incrementando eficiencias productivas.

Equipos eFuse para activación con periodos de retardo variables secuenciales eFuse 8 channels.

Este desarrollo en su conjunto permite la explotación de yacimientos con una nueva alternativa sin los efectos adversos, como la sobre fracturación de la roca, la vibración o el vuelo de roca, lo que da como resultado:

- La reutilización de bancos de piedra en zonas con avance de zona urbana, o el trabajo de bancos de roca o agregados cerca de comunidades o infraestructura.
- El trabajo de bancos con materiales delicados o frágiles como ónix, mármol o canteras, etcétera.
- Nuevos métodos extractivos para minas de minerales no metálicos
- El trabajo de caminos, accesos, exploración, nivelación de terrenos en zonas urbanas, zanjeo, obras de agua potable o alcantarillado y obras eléctricas.
- Estabilización de taludes.
- Urbanización y obras viales.
- Desborde en minería de minerales metálicos subterráneamente.
- La exploración sísmica por el método de refracción.
- La fragmentación de concreto en áreas sensibles.
- Trabajos inmediatos en problemas de deslizamientos de tierras, caída de rocas, reencauzamiento de ríos o arroyos y otras contingencias por problemas climáticos.
- Rocas de sobretamaño.



► Descripción del desarrollo del proyecto

El proyecto se divide en 3 etapas importantes:

- Desarrollo del producto
- Trabajo en campo para la aplicación del producto
- Sistema de aplicación

Desarrollo del producto. Se logró obtener un producto confiable, seguro, que aporta grandes beneficios a la industria de la minería y a la industria de la construcción, y que compite con los productos *non explosives* que existen actualmente en el mercado norteamericano y en el mercado europeo.

En el trabajo de campo. Se logró conjuntar toda la información obtenida en los trabajos e investigación realizada, tanto en campo como en laboratorio, condensándola en un Manual de Uso del PYROBLAST-C que permitiera a cualquier interesado conocer las particularidades, bondades y facilidades del producto. Este Manual, así mismo, interpreta los datos obtenidos a lo largo del proyecto, con lo que se logra documentar procedimientos constructivos para diferentes aplicaciones con un fundamento en la seguridad.

Otra meta importante dentro del proyecto era darle una difusión adecuada con los sectores interesados, situación que se logró a través de participación en convenciones y pláticas:

1. Convención Nacional de Minería, abril 2010, Chihuahua, Chih.
2. Convención Nacional de Ingeniería en Vías Terrestres, julio 2010, León, Gto.
3. Participando en diversos foros con la CMIC incluyendo Guadalajara, Puebla, Los Cabos, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Monterrey.
4. Pláticas a través de Fondo de Fomento Minero, incluyendo Matehuala, SLP; Zimapán, Pachuca y Tula, Hgo.
5. Pláticas a empresas como: Peñoles, Grupo México, Cemex, Macocozac, Capstone Gold, Kansas City Southern, Comisión Federal de Electricidad, sólo por nombrar algunas.
6. Pláticas en universidades como la Universidad Autónoma de Zacatecas, la Universidad Panamericana en Guadalajara, la Universidad de Guanajuato.
7. Creación y mejora de la página web del producto (www.pyroblast-c.com) con más de 2,172 visitas en el periodo de este análisis, con un promedio de 2.38 páginas visitadas por persona en un periodo de tiempo en sitio de 00:02:35 a través de 54 países.

8. Pláticas en Guatemala, El Salvador, Panamá y negociaciones vigentes en Perú, Guatemala y Estados Unidos.

Desarrollo del sistema. Se desarrolló además un *software* conjuntamente con empresas de desarrollo de tecnología, que permite contar hoy con un sistema de ignición llamado eFuse, el cual posibilita la iniciación electrónica de los productos por medio de la programación de tiempos de retardo variables. Éstos son a elección del usuario, de las condiciones de seguridad y vibración límite y, sobre todo, representan una disminución importante en costos.

Se integró, además, un elemento fundamental que es el cerillo eléctrico, el cual permite la iniciación del producto con una certeza de 100%, a través de un método electrónico que comparado con cordones detonantes y otros métodos, ofrece mucha mayor seguridad, confiabilidad, productividad, etcétera.

Ese elemento requería, a su vez, de un equipo que emitiera pulsos eléctricos en forma programada y que se desarrolló a partir de los conocimientos y necesidades que el mismo trabajo arrojó a lo largo del estudio realizado. Actualmente, la empresa cuenta con un dispositivo electrónico que unido al cerillo eléctrico constituyen, en forma conjunta, parte de un sistema (eFuse).

La empresa adicionalmente desarrolló un Manual de Operación de la eFuse que incluye contratos de responsabilidad, pólizas de garantía y el Manual de Operación que forma parte de este reporte.

Productos entregados

Un producto y un sistema confiable para la fragmentación de roca en áreas sensibles. El producto no compete con explosivos. Los explosivos tienen su propio mercado y aplicación. El sistema está diseñado para ser utilizado precisamente en aplicaciones sensibles donde los explosivos no deben utilizarse. Esto significa que nuestras soluciones son útiles donde existen restricciones por población, vivienda, tráfico vehicular, maquinaria y/o equipos o por restricciones ambientales.

El dispositivo y el sistema de iniciación del mismo incrementan el control de la vibración. La vibración es un aspecto que depende de muchos factores, incluyendo la profundidad de barrenos, sobrebarrenación, orientación de los barrenos, continuidad o discontinuidad de la masa rocosa, la geología, la cantidad de carga iniciada en un mismo instante, el tipo de explosivo utilizado, etcétera.

Sin embargo, el sistema Pyroblast-C comparado con cualquier tipo de explosivo convencional, por su velocidad de detonación (DOT), por su activación electrónica con periodo de retardos variables y por la cantidad de carga, da como resultado mucho menores niveles de vibración y vuelo de roca.

Manual del Uso del Pyroblast-C y Manual de Uso de eFUSE. Con la información clara para la aplicación, cálculo, diseño, determinación de productos a utilizar, resultados esperados, costos, para diferentes ambientes incluyendo:

- Roca de sobre tamaño
- Zanjeo
- Banco
- Desborde
- Fosa

Desarrollo de políticas de la empresa incluidas. Política de Seguridad, Políticas de Calidad, Política de Pruebas, Política de Embarques, Política de Capacitación. Todas estas políticas aseguran el sistema de calidad en el uso del producto a través del desarrollo y actualización de los manuales, informes, reportes, aseguramiento de los conocimientos mínimos para la aplicación de nuestros sistemas en forma segura con los resultados esperados.

Registro de marcas, patentes y derechos de autor. De acuerdo con los objetivos del proyecto se logró la protección legal de la propiedad intelectual obtenida, a través de los registros de marcas, derechos de autor del Manual de Uso Pyroblast-C y el registro de patente del dispositivo como consta en los documentos anexos.

Conclusiones

Hoy contamos una tecnología altamente competitiva y novedosa que se está exportando a países como Brasil, y próximamente Chile, Costa Rica, Panamá, Colombia y Argentina.

Se cuenta con una metodología clara, útil y competitiva para la iniciación y aplicación del Pyroblast-C como una alternativa viable para nuevos métodos extractivos en la industria minera, destacando su uso en: canteras, mármol, ónix, minerales no metálicos como la ziolita y en minería metálica en aplicaciones de desborde, fragmentación de concreto, obras de portales, rocas de sobretamaño y estabilización de taludes.

Se cuenta con consolas eFuse Smart Blast System, el cual es un equipo electrónico manufacturado por PyroSmart México, SA de CV (PyroSmart) para la activación secuencial con periodos de tiempo variable de iniciadores electrónicos J-Tek, que pueden estar integrados a un dispositivo fragmentador de roca de alta seguridad Pyroblast-C.



DIRECTORIO

DIRECTORIO DE EMPRESAS, ORGANISMOS E INSTITUCIONES EDUCATIVAS PARTICIPANTES

Morelos

Dr. Alfredo Martínez Jiménez

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biotecnología
(01 777) 317 5781
alfredo@ibt.unam.mx
Cuernavaca, Morelos

Dr. José Armando Ulloa

Universidad Autónoma de Nayarit
Centro de Tecnología de Alimentos
(01 311) 211 8851
arulloa@nayar.uan.mx
Tepic, Nayarit

Dra. Sofía Esperanza Garrido Hoyos

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua
(01 777) 329 3600 ext. 320
(01 777) 329 3662
sgarrido@tlaloc.imta.mx
Jiutepec, Morelos

Nuevo León

MA Cirilo Noguera Silva

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
(01 442) 211 9800 ext. 1213
cnoguera@cidesi.mx
Querétaro, Querétaro

Nayarit

Dra. Ninfa María Rosas García

Instituto Politécnico Nacional
Centro de Biotecnología Genómica
(01 899) 924 3627 ext. 7721
nrosas@ipn.mx
Reynosa, Tamaulipas

Dr. Belzahet Treviño Arjona

ITESM *Campus* Monterrey
Centro de Estudios del Agua
(01 81) 10 74 95 69
btrevino@iis.mx
Nuevo León, Monterrey

► Puebla

Dr. Abel Gil Muñoz

Colegio de Postgraduados
Campus Puebla
(01 222) 285 0013
gila@colpos.mx
Puebla, Puebla

Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera

Colegio de Postgraduados
Campus Puebla
(01 222) 285 2162; 222 285 2798
dcarrera@colpos.mx
Puebla, Puebla

Dra. Griselda Corro Hernández

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
(01 222) 229 5500 ext. 7294
cs001380@siu.buap.mx
Puebla, Puebla

► Querétaro

Dr. Fernando Martínez Bustos

CINVESTAV-QUERÉTARO
IPN-SEP
(01 422) 211 9905
fmartinez@qro.cinvestav.mx
Querétaro, Querétaro

Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias
(01 442) 192 1200
mahinda@uaq.mx
Querétaro, Querétaro

Dr. Gilberto Herrera Ruiz

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
(01 442) 192 1200 ext. 6016
gherrera@uaq.mx
Querétaro, Querétaro

► Quintana Roo

Dr. Héctor Nolasco Soria

Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Quintana Roo
Director Editorial, Innovación para la Vinculación, FOMIX Quintana Roo
(01 612) 12384 84 ext. 3406
hulasco2008@hotmail.com
Chetumal, Quintana Roo

► San Luis Potosí

Dr. Rubén López Revilla

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica
División de Biología Molecular
(01 444)-834-2053
rlopez@ipicyt.edu.mx
San Luis Potosí, San Luis Potosí

Quim. Lorenzo Cerda Guerrero

Canel's SA
(01 444) 8246090
lcerda@canel.com
San Luis Potosí, San Luis Potosí

► Sinaloa

Dra. María Guadalupe Martha Zarain Herzberg

Centro de Ciencias de Sinaloa
(01 667) 7599 000 ext. 1124
marthazarain@gmail.com
Culiacán, Sinaloa

Dr. Horacio Roldán López

Universidad Autónoma de Sinaloa
Facultad de Arquitectura
(01 667) 1610 474
trescascabeles@hotmail.com
Culiacán, Sinaloa

Dr. Cuauhtémoc Reyes Moreno

Universidad Autónoma de Sinaloa
Facultad de Ciencias Químico-Biológicas
(01 667) 715 7641 y (01 667) 1423 914
creyes@uas.uasnet.mx
Culiacán, Sinaloa

► Sonora

Dr. Jaime López Cervantes

Instituto Tecnológico de Sonora
Departamento de Biotecnología y
Productos Naturales
(01 644) 410 0900
jlopezc@itson.mx
Ciudad Obregón, Sonora

Dr. Alejandro Pardo Guzmán

Centro de Investigación y Desarrollo de
Ingeniería Avanzada, SA de CV
Dirección General
(01 662) 254 4703
dino.pardo@cidia.com.mx
Hermosillo, Sonora

► Tabasco

Lic. Ana Beatriz Parizot Wolter

Chocolates "Walter"
(01 933) 337 1122
wolter@prodigy.net.mx
Comalco, Tabasco

► Tamaulipas

Ing. Augusto Carlos Mendoza Pérez

Industrias Gobar S de RL de CV
Gobar Systems, INC.
(01 868) 150 1000
carlos.mendoza@gobarsystems.com
Matamoros, Tamaulipas

Dr. Miguel Ángel Arronte García

Instituto Politécnico Nacional
CICATA Unidad Altamira
(01 833) 2600 125
marronte@ipn.mx
Altamira, Tamaulipas

Dr. Jacinto Carreón Treviño

Universidad Autónoma de Tamaulipas
Unidad Académica Multidisciplinaria
Agronomía y Ciencias
(01 834) 318 1800 ext. 2139
jatrevino@uat.edu.mx
Ciudad Victoria, Tamaulipas

▶ Tlaxcala

Dr. Aníbal Griceldo Quispe Limaylla

Colegio de Postgraduados
SAGARPA
(01 595) 9520200 ext. 1854
anibalq@colpos.mx
Texcoco, Estado de México

Adrián González Romo

El Colegio de Tlaxcala, AC
(01 246) 645 233
aromo@colpos.mx
San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala

Dr. Juan Suárez Sánchez

Universidad Autónoma de Tlaxcala
Facultad de Agrobiología
(01 248) 481 5382
jsuarezs71@hotmail.com
Ixtaculxtla, Tlaxcala

▶ Veracruz

Dr. Miguel Rubio Godoy

Instituto de Ecología, AC
Red de Biología Evolutiva
(01 228) 842 1800 ext. 6208
miguel.rubio@inecol.edu.mx
Xalapa, Veracruz

▶ Yucatán

MC María Fidelia Cárdenas Marrufo

Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Yucatán
(01 999) 924 05 54 ext. 1161
cmarrufo@uady.mx
Mérida, Yucatán

Dr. Roger Amílcar González Herrera

Universidad Autónoma de Yucatán
Facultad de Ingeniería
(01 999) 930 0550 ext. 1073
gherrera@uady.mx
Mérida, Yucatán

▶ Zacatecas

Raúl René Ruiz Garduño

Universidad Autónoma de Chapingo
Dirección de Centros Regionales
Universitarios o CRUCEN
(01 492) 9246147 ext. 116
coroneogto@yahoo.com.mx
Zacatecas, Zacatecas

MG Miguel García Guerrero

Universidad Autónoma de Zacatecas
Museo de Ciencias
(01 492) 922 2924 ext. 117
miguel@grupoquark.com
Zacatecas, Zacatecas

Eduardo Alejandro Mantecón González

PyroSmart México, SA de CV
(01 492) 899 2577
alejandromantecon@mac.com
Zacatecas, Zacatecas

Esta obra se terminó de imprimir en
el mes de junio de 2011, con un tiraje
de 1,000 ejemplares en los talleres de
Imagen Maestra