

CIATEJ:

Una década
de investigación
e innovación en el
sureste de México



Ingrid Rodríguez Buenfil
Tania González Flores
editoras

*CIATEJ:
Una década de investigación e innovación
en el sureste de México*

Dr. José de Anda Sánchez
Director General

Dra. Ingrid Mayanín Rodríguez Buenfil
Directora Unidad Sureste

Investigadores Unidad Sureste
Titular A

Dra. María de los Ángeles Sánchez Contreras
Dra. Ana Luisa Ramos Díaz
Dra. Neith Aracely Pacheco López

Asociado C

M. en C. Tania González Flores
Dra. Nohemí del Carmen Reyes Vázquez
Dra. Guadalupe López Puc
Dra. Elida Gastélum Martínez
Dra. Julia del Socorro Cano Sosa
Dr. Alberto Uc Vázquez
Dr. Zahaed Evangelista Martínez
Dr. Juan Luis Morales Landa

Asociado B

Dr. Manuel Octavio Ramírez Sucre

CIATEJ: **Una década de** **investigación e innovación** **en el sureste de México**

Ingrid Mayanín Rodríguez Buenfil
Tania González Flores
editoras



Mérida, Yucatán, México
2012

CIATEJ: Una década de investigación e innovación en el sureste de México
Editoras:
Ingrid Rodríguez Buenfil
Tania González Flores

Obra editada e impresa con el apoyo
del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, FOMIX

D.R. © Consejo de Ciencia, Innovación y Tecnología del Estado de Yucatán, 2012
calle 23 Núm. 122 por 22 y 24. Fraccionamiento Loma Bonita CP 97205,
Mérida, Yucatán, México. Tels. (999) 938-0400; 938-0451; 924-8437
concytey@yucatan.gob.mx www.cienciytecnologia.yucatan.gob.mx

D.R. © Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad Sureste, 2012
calle 30 Núm. 151, interior Canacintra por 7 y 7 A,
Col. García Ginerés, CP 97070 Mérida, Yucatán, México.
Tels. (999) (999) 920 26 71 y (999) 920 06 24 www.ciatej.net.mx

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier
medio, sin permiso por escrito del titular de los derechos.

ISBN 978-607-9060-11-4

Coordinación general
Ingrid Rodríguez Buenfil
Coordinación de obra
Tania González Flores
Cuidado de edición y revisión ortotipográfica
Alejandrina Garza de León
Diseño editorial, infografía y formación
Sonia Olvera Carrasco

Las imágenes y fotografías
fueron proporcionadas por los autores.

FICHA CATALOGRÁFICA Y BIBLIOGRÁFICA PENDIENTE



Editado e impreso en Mérida-México
Made and printed in Merida-Mexico

PREFACIO

José de Anda Sánchez, Director General CIATEJ | 13

SECCIÓN I. RESEÑA HISTÓRICA

El nacimiento de la Unidad Sureste | 19

SECCIÓN II. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

1. INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA FORTALECER

EL SECTOR CITRÍCOLA

- 1.1. Resumen | 33
- 1.2. Introducción | 34
- 1.3. Investigaciones realizadas | 36
 - 1.3.1. El huanglongbing de los cítricos: contribuciones para el manejo de la enfermedad | 36
 - 1.3.2. Aprovechamiento de cítricos y subproductos de su industrialización para la extracción de metabolitos de interés comercial | 39
 - Limonoides | 42
 - Flavonoides | 45
 - Carotenoides | 54
 - 1.3.3. Biotransformación de biomasa en bioetanol | 57
- 1.4. Estudios de colaboración para el fortalecimiento de la investigación en el área de cítricos | 64
 - 1.4.1. Análisis de factibilidad económico financiero | 64
 - 1.4.2. Investigación de mercado | 68
 - 1.4.3. Evaluación toxicológica de extractos cítricos | 71
- 1.5. Conclusiones | 75
- 1.6. Prospectiva | 75
- 1.7. Referencias bibliográficas | 77

2. DESARROLLO DE PRODUCTOS A BASE DE CHILE HABANERO

- 2.1. Resumen | 81
- 2.2. Introducción | 82
 - 2.2.1. Importancia del chile habanero en la península de Yucatán | 82
 - 2.2.2. Situación actual de la producción y comercialización del chile habanero | 84
 - 2.2.3. Descripción de los productos frescos y procesados | 86
- 2.3. Investigaciones realizadas | 89
 - 2.3.1. Desarrollo de un proceso fermentativo para la industrialización del chile habanero | 89
 - 2.3.2. Producción de pastas de chile habanero que cumplan con las especificaciones de calidad internacionales | 99
- 2.4. Conclusiones | 105
- 2.5. Prospectiva | 106
 - 2.5.1. Evaluación de aditivos naturales y tratamientos térmicos sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial de la pasta de chile habanero | 106
 - 2.5.2. Fortalecimiento de la cadena de valor del chile habanero de la península de Yucatán mediante el establecimiento de su sistema alimentario. Eje 2 Inocuidad y trazabilidad | 108
- 2.6. Referencias bibliográficas | 111

3. POTENCIAL DE LAS FRUTAS TROPICALES Y SUS SUBPRODUCTOS PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE ALTO VALOR AGREGADO

- 3.1. Resumen | 113
- 3.2. Introducción | 114
 - 3.2.1. Frutas tropicales | 114
 - 3.2.2. Subproductos de cosecha y comercialización | 116
- 3.3. Investigaciones realizadas | 118
 - 3.3.1. Papaya | 118
 - Biocatalizadores | 120
 - Carotenoides | 124
 - Compuestos antifúngicos | 126
 - 3.3.2. Mango | 130
 - Desarrollo de nuevos productos | 132
 - 3.3.3. Marañón | 136

Ingredientes funcionales	141
3.4. Conclusiones	146
3.5. Referencias bibliográficas	146
4. LA MIEL: INOCUIDAD, CALIDAD Y APLICACIONES	
4.1 Resumen	151
4.2. Introducción	152
4.2.1. Importancia de la miel y la apicultura en México	154
4.2.2. Propiedades y aplicaciones	154
4.2.3. Calidad e inocuidad y de la miel	158
4.3. Investigaciones realizadas	161
4.3.1. Mejoramiento de la calidad de la miel	161
4.3.2. Elaboración de un vino a partir de miel de abeja	163
4.3.3. Alcaloides en miel	165
4.3.4. Actividad antioxidante y antimicrobiana de la miel	171
4.4. Conclusiones	172
4.5. Prospectiva	172
4.6. Referencias bibliográficas	174
5. AISLAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS MICROBIANOS PARA EL DESARROLLO BIOTECNOLÓGICO DE NUEVOS PRODUCTOS Y PROCESOS	
5.1. Resumen	177
5.2. Introducción	178
5.2.1. Recursos microbianos en la naturaleza	179
5.2.2. Aspectos biotecnológicos relacionados a su aplicación	180
5.2.3. Aislamiento y conservación de microorganismos	181
5.3. Investigaciones realizadas	182
5.3.1. Estudio de Bacterias Ácido Lácticas (BAL) en el desarrollo de nuevos productos y procesos	182
Estudio de la diversidad genética de Bacterias Ácido Lácticas en la península de Yucatán	183
Evaluación de la actividad antimicrobiana de bacterias silvestres de chile habanero (<i>Capsicum chinense</i>)	188
5.3.2. Banco de Germoplasma de Actinomicetos	190
Aislamiento, caracterización y conservación de un banco de germoplasma de actinomicetos aislados de Áreas Naturales Protegidas de México	192
5.3.3. Transformaciones microbianas	198

Caracterización bioquímica y molecular de nuevas oxigenasas microbianas, que promueven la conversión de carotenoides a compuestos con aroma | 199

5.4. Conclusiones | 202

5.5. Referencias bibliográficas | 203

6. FLORICULTURA: INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN MICROPROPAGACIÓN, POSCOSECHA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO

6.1. Resumen | 205

6.2. Introducción | 206

6.3. Investigaciones realizadas | 207

6.3.1. Micropropagación | 207

Establecimiento de un banco de germoplasma *in vitro* de orquídeas nativas del estado de Campeche para su aprovechamiento sustentable | 208

Propagación *ex situ* de *Bletia purpurea* y *Habernaria bractescens*, especies en peligro de extinción, a través de semillas sintéticas, para su reintegración a los ecosistemas del estado de Campeche | 216

Estudios y caracterización del comportamiento morfogénico *in vitro* de tres genotipos del género *Anthurium* | 219

6.3.2. Manejo poscosecha de plantas ornamentales | 223

Mejoramiento del manejo poscosecha de nardo y gladiolo | 223

6.3.3. Mejoramiento genético | 227

Estudios moleculares y bioquímicos para la modificación de la ruta de biosíntesis de las antocianinas en crisantemo (*Dendranthema grandiflorum* Tzvelev) | 230

6.4. Conclusiones | 233

6.5. Prospectiva | 235

Mejoramiento genético de *Jatropha* para generar al menos una variedad con alto rendimiento agronómico, alto contenido de aceite y baja toxicidad para la obtención de biodiesel | 235

6.6. Referencias bibliográficas | 237

SECCIÓN III. VINCULACIÓN

7. VINCULACIÓN EMPRESARIAL Y EDUCATIVA

7.1. Resumen | 245

- 7.2. Introducción | 246
- 7.3. Cursos de capacitación tecnológica | 247
- 7.4. Servicios de consultoría a empresas de la región | 251
- 7.5. Los posgrados que oferta el CIATEJ Unidad Sureste | 251
 - 7.5.1. Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología | 252
 - 7.5.2. Posgrado en Ciencias de la Floricultura | 254
- 7.6. Estudiantes atendidos en el CIATEJ | 255
 - 7.6.1. Origen de los estudiantes atendidos | 255
 - 7.6.2. Alumnos graduados de la Maestría en Ciencias de la Floricultura | 256
 - 7.6.3. Estudiantes que actualmente cursan el PICYT | 257
 - 7.6.4. Listado de estudiantes graduados de Licenciatura | 258
 - 7.6.5. Listado de estudiantes y temas de residencia profesional | 261
- 7.7. Publicaciones | 263
 - 7.7.1. Listado de publicaciones | 263
- 7.8. Propiedad intelectual | 272
 - 7.8.1. Patentes | 272
 - 7.8.2. Patente otorgada | 272
 - 7.8.3. Solicitudes de patente en examen de fondo | 273
 - 7.8.4. Solicitudes de patente en examen de forma | 277
 - 7.8.5. Registro de microorganismos | 277
- 7.9. Conclusiones | 279

SECCIÓN IV. FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA DE INVESTIGACIÓN: INFRAESTRUCTURA DE LA NUEVA SEDE

8. INFRAESTRUCTURA DE LA NUEVA SEDE

- 8.1. Resumen | 283
- 8.2. Introducción | 284
- 8.3. Parque Científico y Tecnológico de Yucatán | 285
 - 8.3.1. Planta Piloto de Alimentos: proyecto estratégico, complementario y de fortalecimiento | 286
 - 8.3.2. Laboratorios Unidad Sureste | 296
 - 8.3.3. Prospectiva de la investigación | 297
- 8.4. Conclusiones | 302
- 8.5. Referencias bibliográficas | 303



PREFACIO

El sureste de México lo conforman los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Es una región que en los últimos años se ha ido fortaleciendo en sus capacidades para dar valor agregado a los recursos naturales en forma sustentable; también ha conquistado nuevos mercados nacionales e internacionales de exportación, diversificando sanamente su economía. Es una zona que conserva una estrecha relación entre la diversidad biológica y la riqueza cultural la cual ha estado presente a lo largo de más de 3,000 años de su historia.

Esta riqueza cultural se manifiesta en los vestigios arqueológicos de las culturas olmeca y maya, siendo esta última la que se destaca porque hay vestigios prácticamente en toda la región, extendiéndose por toda América Central.

Sin lugar a dudas es una región estratégica en la economía nacional, pues en ésta se ha venido generando consistentemente en promedio

el 11.6% del Producto Interno Bruto Nacional en el periodo 2003-2010, contribuyendo con un promedio de 14.6% del crecimiento del PIB nacional en el mismo periodo. En cuanto a los índices de desarrollo humano, los estados de Campeche y Quintana Roo son los que han manifestado un crecimiento sostenido, cuyos índices se encuentran por arriba de la media nacional, pasando de 0.83 a 0.84 en el periodo 2000 a 2006. No obstante que los estados de Yucatán y Tabasco crecieron de una forma más acelerada pasando de 0.78 a 0.80 en el mismo periodo, sus índices aún se encuentran poco más de 0.2 puntos porcentuales por debajo de la media nacional.

Particularmente, el reto que enfrenta el estado de Yucatán está relacionado con el combate de la pobreza y pobreza extrema, que afecta en diferentes grados a toda la región del sureste. Con el objetivo de impulsar la inversión en el estado, el gobierno estatal ha puesto en marcha distintos mecanismos de fomento que han resultado en un incremento en la apertura de sociedades mercantiles y a la inversión extranjera.

En relación con el desarrollo del Sector Alimentario, de acuerdo con el informe publicado por INEGI sobre el desempeño al año 2011, la región sureste del país es la más deprimida en este sector y, asimismo, es notorio que desde 2005 en los estados del sureste han prevalecido altos niveles de desnutrición en menores de 5 años de edad.

La reciente creación del Parque Científico y Tecnológico de Yucatán ubicado en la Comisaría de Sierra Papacal, al noreste de Mérida, es una iniciativa que contribuirá eficazmente a disminuir el rezago que se ha venido presentando en la región en materia de desarrollo económico y social, con el fin de transitar de un modelo económico tradicional a una economía basada en el conocimiento.

En la primera etapa de construcción de este parque destaca la edificación de Proyectos Estratégicos, que constan de laboratorios para el conocimiento y conservación de la biodiversidad (CICY), laboratorio de biología molecular (Cinvestav) y de centro de investigación y desarrollo para el procesamiento de alimentos (CIATEJ), así como el

establecimiento del jardín botánico, el acuario y museos. En una etapa posterior del proyecto se prevé la instalación de empresas de alto nivel tecnológico que apliquen los desarrollos generados en este parque con el fin de generar nuevas empresas e impulsar la competitividad de las existentes.

En este sentido, la Unidad Sureste del CIATEJ tiene comprometido el contribuir al desarrollo tecnológico del sector agrícola, pecuario, forestal y pesquero de la región, a través del apoyo en servicios tecnológicos a los productores primarios, para que sus materias primas cumplan con las condiciones de inocuidad y calidad que exigen los mercados nacionales y de exportación; también, la búsqueda de nichos de oportunidad para la generación de alimentos procesados acordes con las tendencias de salud y bienestar y que éstos puedan ser distribuidos en las tiendas de conveniencia de los mercados nacionales e internacionales. Para ello se requerirá establecer sinergias con otras instituciones del país, para el desarrollo de tecnologías de empaque.

Asimismo, a través de la Unidad Sureste del CIATEJ se pretende contribuir al impulso de la innovación, facilitando sus capacidades e instalaciones para generar procesos de incubación de empresas de base tecnológica, fortalecimiento de la competitividad de las empresas de alimentos existentes, formando capital humano de alto nivel para que sean ellos los futuros tomadores de decisiones que apoyen el desarrollo del sector agroalimentario de la región.

El libro *CIATEJ: Una década de investigación e innovación en el sureste de México* es una muestra del esfuerzo que ha venido realizando la Unidad Sureste del CIATEJ, como parte del sistema de Centros Públicos de Investigación del CONACYT, para fortalecer los cimientos científicos y tecnológicos que requiere el sector agroalimentario de la región. Es una prueba de lo que hoy en día es posible realizar en las instituciones de México en la búsqueda de la generación de riqueza con base en el desarrollo, aprovechando los nichos de oportunidad para la creación de iniciativas empresariales que deseen incursionar en la aventura de participar en la creación de una

economía sustentable basada en el conocimiento, en donde los productos y procesos tengan desde su concepción la visión de generación de riqueza para la región, sin dejar de lado el cuidado por la enorme riqueza ambiental que se ha heredado como patrimonio en esta privilegiada región del país y del mundo.

José de Anda Sánchez
Director General

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco, CIATEJ

SECCIÓN I



RESEÑA HISTÓRICA

EL NACIMIENTO DE LA UNIDAD SURESTE

Ingrid Rodríguez Buenfil

irodriguez@ciatej.net.mx

*Unidad Sureste del Centro de Investigación y Asistencia
en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, calle 30
Núm. 151, interior Canacintra por 7 y 7 A,
Col. García Ginerés, Mérida Yucatán, CP 97070*

La idea de abrir una Unidad Sureste del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) se plantea en 2001 por parte del Dr. Luis Edmundo Garrido Sánchez, en ese entonces director general del CIATEJ, quien inicia pláticas con la Dra. Ingrid Mayanín Rodríguez Buenfil, investigadora del CIATEJ, que en ese momento se encontraba realizando un año sabático en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) en la ciudad de Mérida, para plantearle la posibilidad de que al abrir la Unidad estuviese a cargo de la misma.

En julio de 2001 se crea la Unidad y la Dra. Rodríguez Buenfil acepta estar al frente, iniciándose las primeras actividades en conjunto con la entonces Coordinación de Cobertura Sectorial y Regional del CIATEJ con el fin de establecer el programa de regionalización de la Unidad Sureste. Al mes siguiente se tuvo una entrevista con el recién electo gobernador de Yucatán Patricio Patrón Laviada, en la cual se le presentó el proyecto de la Unidad Sureste del CIATEJ, obteniéndose

su visto bueno para la apertura. En septiembre inician las actividades de promoción de la Unidad (presentaciones, entrevistas, entre otras), enfocándose en los meses restantes de ese año a iniciar con la negociación de convenios de colaboración con universidades e instituciones educativas de la Península y la búsqueda y posterior negociación de un local donde establecer las oficinas y laboratorios de la Unidad.

Durante el año 2002, específicamente el 22 de julio, se concreta la instalación de las oficinas y laboratorio de la Unidad Sureste del CIATEJ, en el interior del edificio de la Canacintra, en Mérida Yucatán, donde hasta la fecha tiene su domicilio. Ese año se contrató a una secretaria y a un investigador titular, se efectuó la planeación estratégica de las actividades a realizar, así como las firmas de los primeros convenios de colaboración con instituciones educativas de la región y se impartió el primer curso de capacitación a la comunidad científica.

En 2003 se oficializa la Unidad ante el Órgano de Gobierno, se logra la firma de los dos primeros contratos con una empresa del sector apícola: uno de asesoría y el otro para el desarrollo de un proyecto de investigación, se continúa con la promoción de los servicios de la Unidad y se inicia el concurso de proyectos de investigación en convocatorias regionales y nacionales.

En 2004 se contrata a tres investigadores más, lo que dio un total de cinco en la Unidad Sureste, así como a una persona para la comercialización de los productos y servicios de la Unidad. Es en este año cuando se gana el primer proyecto de investigación financiado por la Fundación Produce Yucatán, se firman otros dos contratos de vinculación con la industria y se concursan en diversas convocatorias de fondos nacionales e internacionales. Asimismo, se realizan adecuaciones a la infraestructura, incluyendo la instalación de mueble de laboratorio.

El aumento de la plantilla de investigadores y la adecuación de la infraestructura trajo como beneficios ganar diversos fondos para realizar proyectos de investigación en 2005, entre ellos el de Semarnat-

CONACYT y el de Sagarpa-CONACYT, los cuales fueron por cerca de 1 millón de pesos cada uno y permitieron equipar el laboratorio en lo referente a biología molecular, enzimología y equipos para determinaciones analíticas en general. Adicionalmente, se obtuvo financiamiento de los Fondos Mixtos CONACYT y nuevamente de la Fundación Produce Yucatán.

En 2006 se continúa con la obtención de fondos de diversas convocatorias para la realización de proyectos de investigación, se contratan tres nuevos investigadores y se inician las negociaciones con el Gobierno del Estado para la donación de un terreno con el fin de construir nuestro propio edificio y para lo cual se da inicio al anteproyecto correspondiente.

En agosto de 2007 se celebró el primer lustro de la Unidad Sureste con una mañana de conferencias y una comida con autoridades académicas locales y el personal de la Unidad.

Durante 2007 y 2008 se obtuvieron diversos fondos de financiamiento para proyectos de investigación tanto de convocatorias regionales como nacionales, entre los que destaca el Proyecto Estratégico Yucatán, financiado por los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, con la participación del CICY y el Cinvestav, siendo el CIATEJ la institución ejecutora y el cual comprende la instalación de una planta procesadora de alimentos en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán, la construcción de un banco de germoplasma y jardín botánico por parte del CICY y el equipamiento para un laboratorio de biotecnología molecular por parte del Cinvestav. En ese par de años se incrementó de manera significativa el número de investigadores de la Unidad, llegando a 13 y de los cuales 12 tienen el grado de doctor y seis de ellos pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores.

En septiembre de 2008 dio inicio el Posgrado en Floricultura, con la inauguración y firma de convenios de colaboración con el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), con la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y el Instituto Tecnológico de Conkal (ITC)

para la participación de maestros de estas instituciones con carreras o líneas de investigación afines a la floricultura. El acto de inauguración fue presidido por el M. en C. Juan Carlos Romero Hicks, director general del CONACYT.

La donación del terreno solicitada en 2006 al entonces gobernador no se concretó, y al asumir el cargo en 2007 la gobernadora Ivonne Ortega Pacheco, se reiniciaron las gestiones para la solicitud de terreno. Como respuesta a ésta y a las solicitudes de otros Centros de Investigación, se decide crear el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán.

En 2009 se obtuvo financiamiento a través de diversas convocatorias tanto nacionales como regionales, entre ellas la de IMSS/ISSSTE/SALUD, la Básica del CONACYT, así como los Fondos Mixtos de Yucatán, Campeche, Quintana Roo e Hidalgo. En ese año la Unidad Sureste llegó a tener 16 investigadores (14 con grado de doctor), de los cuales 11 eran investigadores asociados y cinco investigadores titulares, donde siete de ellos estaban en el Sistema Nacional de Investigadores. En 2009 también da inicio la construcción del Parque Científico Tecnológico de Yucatán y se otorga la primera patente por un desarrollo realizado en la Unidad Sureste del CIATEJ.

En 2010 las líneas de investigación de la Unidad Sureste eran:

1. Aprovechamiento de subproductos agrícolas para la obtención de metabolitos de interés biotecnológico

Desarrollo de antifúngicos y antimicrobianos

Obtención de enzimas e ingredientes nutraceuticos

Desarrollo de procesos para la obtención de bioetanol

2. Desarrollo de alimentos y obtención de ingredientes nutraceuticos y/o funcionales

Obtención de compuestos antioxidantes, flavonoides, carotenoides

Determinación de su capacidad antioxidante, antimicrobiana y antiparasitaria

Alimentos fermentados y/o fortificados

- Desarrollo de probióticos
- Prolongación de la vida de anaquel
- 3. Aislamiento, identificación y caracterización de microorganismos con potencial biotecnológico**
 - Diversidad genética de bacterias ácido lácticas y Actinomicetos
 - Determinación de actividad antimicrobiana y antiparasitaria
- 4. Biotecnología de especies vegetales**
 - Micropropagación de especies ornamentales
 - Mejoramiento genético vegetal de especies ornamentales
 - Manejo sanitario de especies vegetales
 - Evaluación farmacológica y fitoquímica de especies vegetales regionales
- 5. Biotecnología Farmacéutica**
 - Evaluación del efecto de productos naturales y/ sintéticos en enfermedades crónico degenerativas
 - a. En modelos animales
 - b. En líneas celulares

Tabla 1. Líneas de investigación

Área	
Biotecnología Industrial	1. Diseño, optimización y aplicación de biocatalizadores
	2. Diseño y optimización de procesos fermentativos
Tecnología Alimentaria	3. Ingeniería y tecnología de procesos alimentarios
	4. Desarrollo y calidad de alimentos y bebidas
	5. Inocuidad alimentaria
Biotecnología Vegetal	6. Mejoramiento genético vegetal
	7. Micropropagación
	8. Fitopatología

Tomando como base el mercado potencial, las empresas presentes en la zona y la experiencia predominante en los investigadores de

la Unidad, ese año se hizo una reestructuración de las líneas de investigación de la Unidad Sureste, enfocándose principalmente al área de Biotecnología Industrial, Tecnología Alimentaria y Biotecnología Vegetal, con énfasis en floricultura, quedando las líneas señaladas en la Tabla 1.

Así, en ese año 2010 la plantilla de investigadores de la Unidad Sureste se redujo a 13 investigadores, con experiencia en estas líneas de investigación, 12 con Doctorado y 7 de ellos pertenecientes al SNI. Estas 13 plazas se han mantenido hasta la fecha y con los investigadores que las ocupan se tiene un porcentaje superior al 50% en cuanto a pertenencia al Sistema Nacional de Investigadores. Ese mismo año inicia en la Unidad Sureste la impartición del Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICYT), del cual se ofrecen dos opciones terminales: Procesos Agroindustriales y Biotecnología Productiva. Por otro lado, en 2010 se firmaron las escrituras del terreno del CIATEJ en el Parque Científico de Yucatán, la donación del terreno fue realizada a través del Parque Científico y Tecnológico de Yucatán AC, ante los notarios públicos Abog. Jorge Alberto Heredia Trujillo y Abog. Luz Margarita Mejía Cáceres de Heredia, con acta Núm. 90, Folio 268, volumen D y tomo 42, firmada en la Notaría Pública Núm. 73.

El proyecto ejecutivo del edificio de la Unidad Sureste del CIATEJ en el Parque Científico Tecnológico de Yucatán se realizó en 2011. En este año se graduaron las primeras dos estudiantes del Posgrado en Floricultura y con los resultados de un proyecto desarrollado en la Unidad se obtuvo el Premio de Ciencia, Tecnología e Innovación 2011 del estado de Quintana Roo. En relación con los proyectos de infraestructura, en 2011 se obtuvo el financiamiento para la construcción del edificio de Floricultura y para el Laboratorio de Pruebas Certificadas para el Chile Habanero.

En 2012 inicia la construcción del edificio de la Planta Piloto de Alimentos, laboratorios y oficinas de la Unidad Sureste del CIATEJ y la fecha programada de entrega de las construcciones es octubre. Por otro lado, dio inicio el proyecto ejecutivo para el edificio de floricultura, con fecha de inicio de obras para el mismo año.

En las gráficas que siguen se presenta un resumen de los resultados obtenidos hasta el momento. En la Figura 1 se muestran los indicadores de desempeño como: publicaciones internacionales con arbitraje, nacionales, patentes y alumnos graduados a lo largo de 10 años que lleva la Unidad, aunque cabe aclarar que el registro de números fue tomado con corte al 16 de julio de 2012, por lo que faltarían 5 meses más para sumar a lo reportado. En la gráfica se observa el aumento paulatino que se ha tenido en los indicadores, con excepción de los alumnos graduados, debido a que se limitó el ingreso de estudiantes a raíz de la falta de espacio a partir de 2008, lo cual se espera subsanar con el cambio a nuestras propias instalaciones que se pretende sea en 2013.

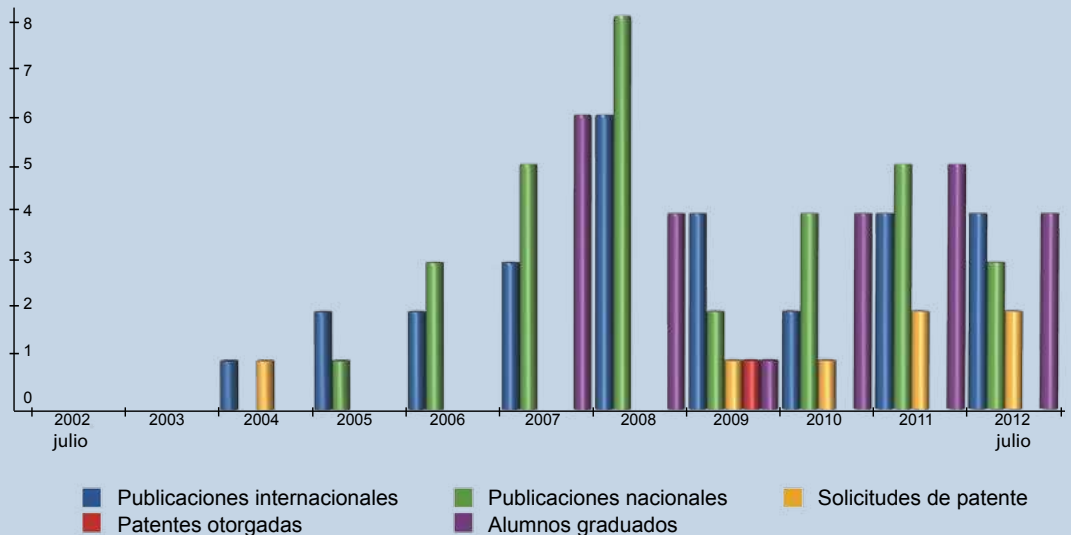


Figura 1. Indicadores de desempeño de 2002 a 2012

El personal que se ha ido contratando en la Unidad estuvo muy limitado en los primeros años (Figura 2). De dos investigadores iniciales en el año 2002, la cifra aumenta a 7 para el año 2007, en tanto que para 2009 estaban contratados 16 investigadores.

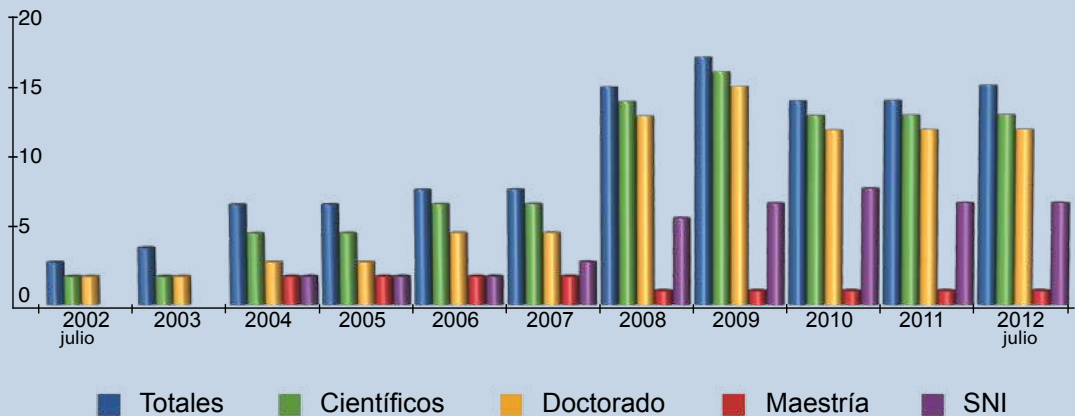


Figura 2. Recursos humanos en la Unidad Sureste del CIATEJ

A la par con la reestructuración de las líneas de investigación, en 2010 se redujo la cifra a 13 investigadores, número que se mantiene actualmente en la Unidad.

El número de proyectos en la Unidad Sureste durante estos 10 años de operaciones se muestra en la Figura 3. Se especifican los fondos de los que obtuvieron financiamiento y se observa el crecimiento que se ha tenido en el número de proyectos con financiamiento, especialmente de 2006 a la fecha, y se aprecia que los financiamientos han provenido tanto de convocatorias nacionales como regionales.

Las bases para el diseño conceptual de las líneas de investigación de la Unidad fueron, en primer lugar, un estudio realizado por la entonces llamada Coordinación de Cobertura Sectorial y Regional del CIATEJ, llamado "Programa de Regionalización", y a esto se adicionaron los planteamientos del Plan Estatal de Gobierno, al cual se ha mantenido el apego conforme ha ido cambiando la administración del Gobierno del Estado de Yucatán.

En el programa de regionalización realizado quedaron de manifiesto las principales actividades económicas de la región, así como las

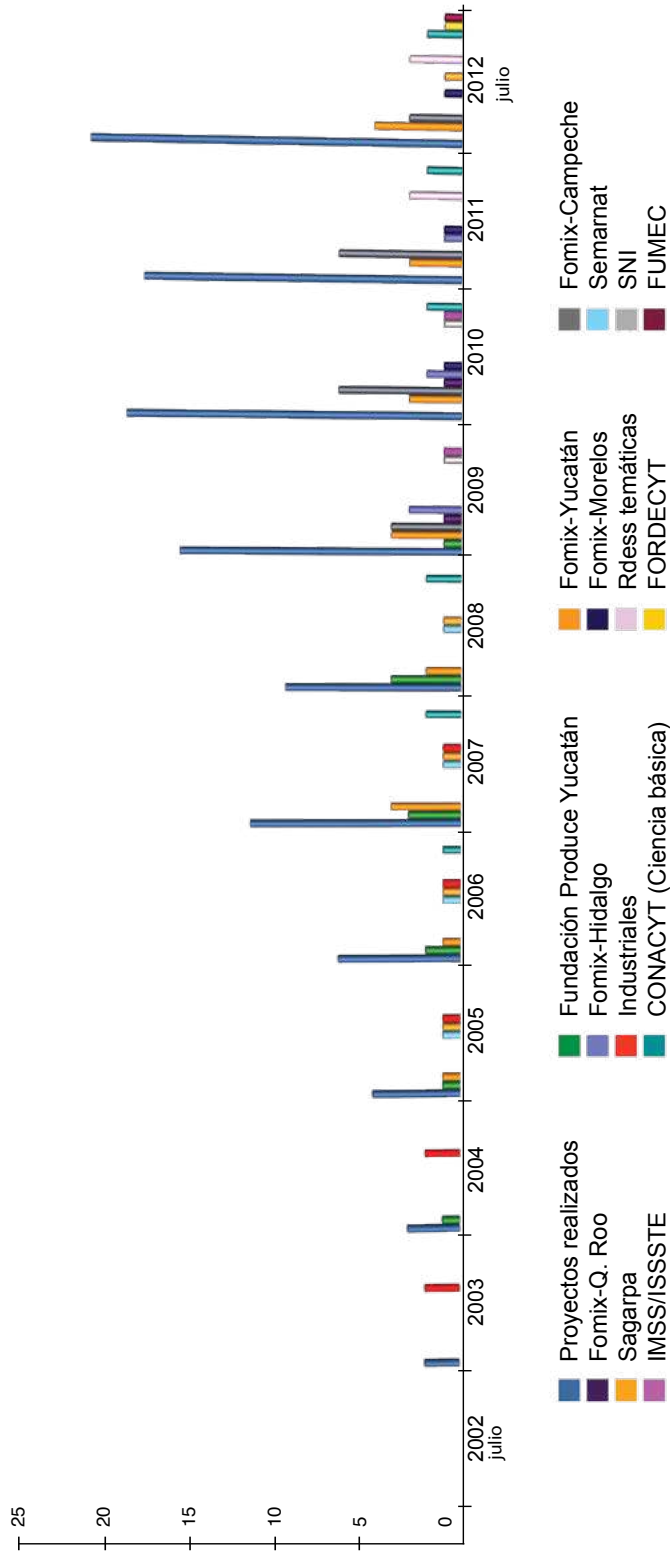


Figura 3. Proyectos realizados de 2002 a 2012

oportunidades de negocio que se detectaron, que, sumado a los Sistema Producto establecidos por el Gobierno del Estado para Yucatán, terminaron por definir las líneas de investigación y de desarrollo tecnológico de la Unidad Sureste del CIATEJ en la ciudad de Mérida, Yucatán, actualizándose al Plan Estatal de Desarrollo 2007-2012 de la gobernadora Ivonne Ortega Pacheco.

En la Figura 4 se muestran los resultados globales con respecto de los principales indicadores de evaluación en los 10 años de actividades en la Unidad Sureste. Se observa que se han desarrollado 44 proyectos y se han impreso 59 publicaciones, 28 de las cuales con arbitraje internacional, teniendo a la fecha ocho más aceptadas (datos no graficados), que se espera se publiquen en esta segunda mitad de 2012.

De los 44 proyectos realizados, en la Figura 5 se muestran las fuentes de financiamiento, donde destaca el otorgado por los Fondos Mixtos del CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, con 12 proyectos

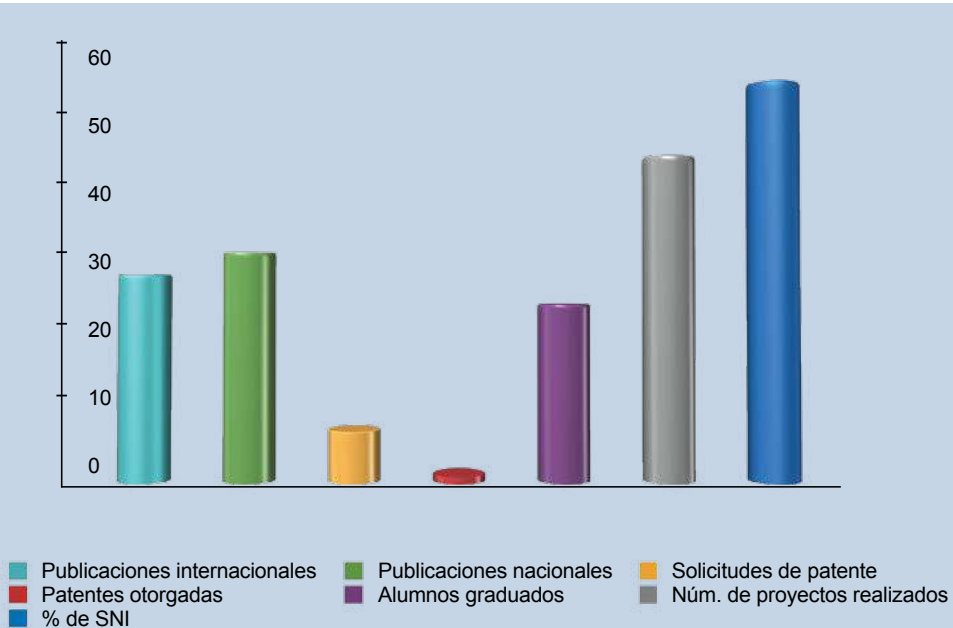


Figura 4. Indicadores de desempeño globales a 10 años

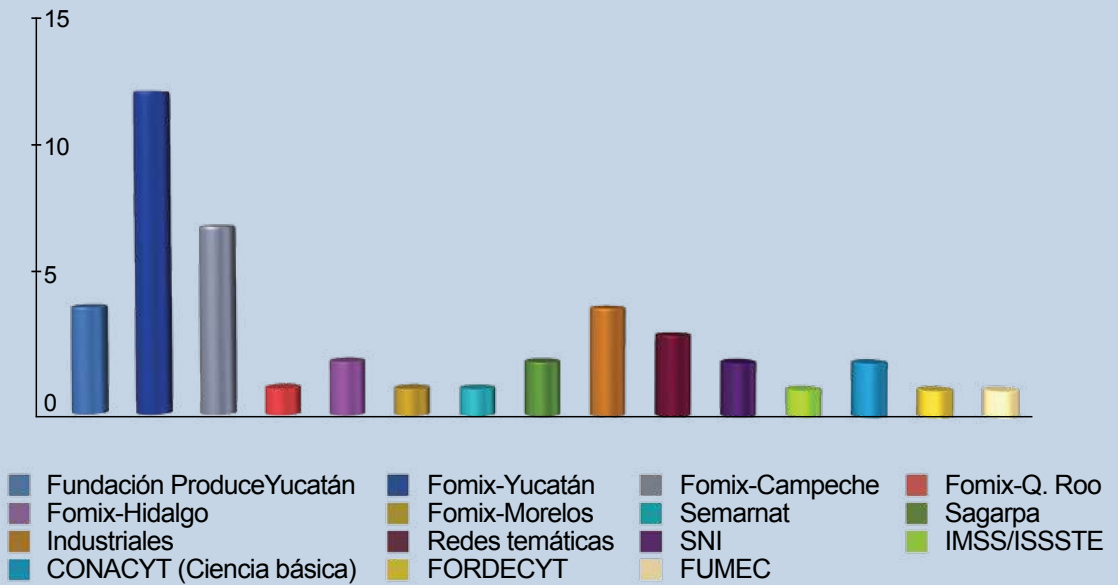


Figura 5. Fuentes de financiamiento de los proyectos realizados

apoyados, siguiéndoles los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del Estado de Campeche, con 7 proyectos.

Los Fondos Mixtos (Fomix) del Sureste (Yucatán, Campeche y Quintana Roo) han financiado 46% de los proyectos realizados durante estos diez años en la Unidad Sureste del CIATEJ, y en conjunto, Fomix (incluyendo Hidalgo y Morelos) ha apoyado 52% de los proyectos realizados en esta Unidad del CIATEJ.

En las cadenas productivas atendidas en los proyectos realizados (Figura 6) es notorio el predominio de los proyectos sobre cítricos, seguidos por los enfocados a chile habanero y miel, en lo que respecta al sector alimentario.

El sector de ornamentales, y en virtud de la Maestría en Floricultura impartida en la Unidad, está presente en siete de los proyectos que se han realizado.

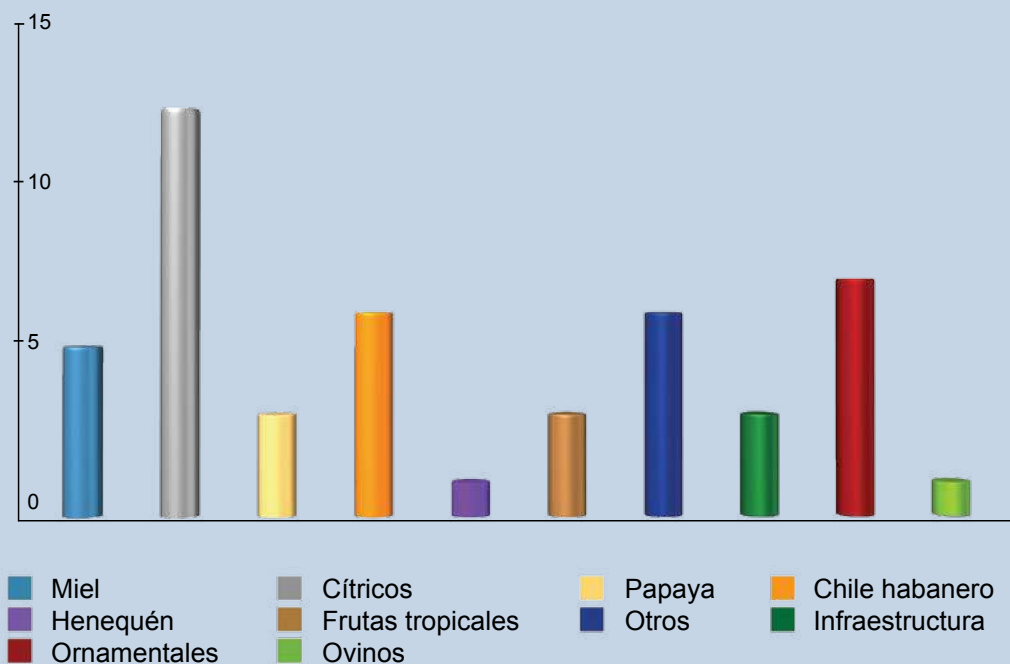


Figura 6. Cadenas productivas atendidas en la Unidad Sureste

Englobados como otros, se encuentran los proyectos relacionados con el aislamiento de microorganismos de muestras como suelos, algunos de los cuales se han realizado en zonas naturales protegidas.

Actualmente está en construcción el primer edificio de las nuevas instalaciones de la Unidad Sureste del CIATEJ, en el Parque Científico Tecnológico de Yucatán, por lo cual, entre los proyectos figuran tres de infraestructura, y se espera inaugurar las instalaciones en octubre del año en curso.

SECCIÓN II



PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA FORTALECER EL SECTOR CITRÍCOLA

Sánchez Contreras A¹, González Flores T¹,
Uc Vázquez A¹, Álvarez Hernández AH²,
Padilla Camberos E², Canales Aguirre AA²,
Godoy Zaragoza M², Flores Montaña JL²,
Ireta Moreno MC² y Rodríguez Buenfil I¹

msanchez@ciatej.net.mx

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño
del Estado de Jalisco, ¹Unidad Sureste, calle 30 Núm.151,
interior Canacindra por 7 y 7A, Col. García Ginerés, Mérida,
Yucatán, CP 97070 ²Sede Guadalajara, Normalistas Núm. 800,
Colinas de la Normal, Guadalajara Jalisco, CP 44270*

1.1. RESUMEN

En esta sección se hace un compendio de las experiencias de investigación realizadas en materia de cítricos. Las demandas de investigación que el CIATEJ Unidad Sureste ha atendido en esta región, desde hace 10 años, se enfocan en el manejo de la enfermedad de huanglongbing (HLB) de los cítricos y en el aprovechamiento integral de frutos cítricos y sus residuos de la industrialización para la extracción de metabolitos de interés comercial, entre los que se incluyen la obtención de polifenoles, flavonoides, limonoides y carotenos, o bien, para añadir valor mediante la biotransformación de biomasa en bioetanol. En estas investigaciones se ha contado con la participación de grupos de trabajo multidisciplinarios, logrando estudios muy completos que incluyen estudios de mercados para el desarrollo de productos específicos, evaluaciones toxicológicas que determinan los posibles efectos en modelos animales, con el fin de garantizar que estos productos sean aptos

para su uso. Adicionalmente, en algunos casos se cuenta con un análisis de factibilidad económica que permite determinar la viabilidad de realizar estas transferencias tecnológicas.

Palabras clave: Cítricos, HLB, Industrialización, Aprovechamiento, Mercado y Factibilidad

1.2. INTRODUCCIÓN

Los cítricos constituyen el género *Citrus*, formando parte de la familia de las rutáceas dentro de la que se incluyen varias especies, entre ellas: las naranjas (*Citrus sinensis*, *Citrus aurantium*); los limones (*Citrus limon*); las mandarinas (*Citrus reticulata*, *Citrus reshni*) y las toronjas (*Citrus paradisi Maef*). El origen del género *Citrus* se sitúa en el sureste de Asia y el centro de China, Filipinas y el archipiélago indo-malayo, hasta Nueva Guinea. Las primeras variedades e híbridos de cítricos fueron el resultado de un largo proceso de identificación, colecta y reproducción de plantas silvestres (Calabrese, 2002). Los dos mayores productores de cítricos son Brasil y Estados Unidos, participando respectivamente, con 21.4% y 14.5% de la producción mundial. Le siguen en importancia China, México, España e India, representando en conjunto 27.6% del total mundial. En México, los diez principales estados productores de cítricos, son: Veracruz, San Luis Potosí, Tamaulipas, Michoacán, Colima, Nuevo León, Tabasco, Yucatán, Oaxaca y Puebla; en ellos se concentra 90.26% de la superficie sembrada de 549,000 ha y 91.33% de la producción nacional de cítricos, equivalente a 6.7 millones de toneladas métricas (SIAP-GARPA, 2009). Los principales cítricos cultivados en México son naranja dulce (*C. sinensis* L. Osbeck), limón (*C. limón* L.), toronja (*C. grandis* L.), mandarina (*C. reticulata* Blanco) y lima persa (*C. latifolia* Tan.) (Rocha-Peña *et al.*, 2005).

Debido a la importancia de este cultivo en el ámbito nacional, se estableció el Sistema Producto Cítricos, que es una entidad económica integrada por organizaciones privadas, asociaciones civiles, instituciones públicas, educativas y de investigación, que agrupa a proveedores de insumos, viveristas, productores, industrializadores, investigadores

y comercializadores de cítricos, organizados para contribuir al desarrollo de la cadena productiva, mediante la representación de un comité directivo integrado por los agentes sociales, privados y públicos participantes en las cadenas investigación-producción-comercialización (Figura 1).



Figura 1. Estructura organizacional del Sistema Producto Cítricos

En México, cada región productora de cítricos establece un consejo citrícola estatal, que demanda, en conjunto con los órganos de gobierno locales, las investigaciones de mayor relevancia enfocadas en prevenir y dar solución a enfermedades potenciales de los cítricos, con el fin de facilitar su manejo fitosanitario, aumentar su productividad y el desarrollo y diversificación de procesos y productos para mejorar la rentabilidad de la industria citrícola local.

Para la realización de las investigaciones que aquí se reseñan se ha contado con el apoyo y financiamiento de diversos fondos nacionales y estatales como Sagarpa, Fundación Produce Yucatán y los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno de los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo.

1.3. INVESTIGACIONES REALIZADAS

1.3.1. El huanglongbing de los cítricos: contribuciones para el manejo de la enfermedad

Los cítricos en México presentan múltiples problemas fitosanitarios, sin embargo, el Huanglongbing (HLB), antes greening de los cítricos, es una de las amenazas fitosanitarias más importantes, ya que se ha estimado que las pérdidas que ocasiona esta enfermedad son superiores a las del Virus de la Tristeza de los cítricos (VTC) (Bové, 2006; Teixeira *et al.*, 2005; Brlansky *et al.*, 2008), además, el vector del HLB se encuentra ampliamente distribuido en los países citrícolas, incluyendo México (Halbert y Núñez, 2004; López-Arroyo *et al.*, 2005). En nuestro país, recientemente se han detectado árboles positivos al HLB, en los principales estados productores.

El agente causal del greening es una α proteobacteria endocelular pleomórfica, ubicada taxonómicamente en el género *Candidatus liberibacter*. Se han identificado tres especies del agente causal de esta enfermedad que se localizan en cerca de 40 países de África, Asia, América y Oceanía: 1. *Candidatus liberibacter asiaticus*: presente en China, Pakistán, India, Taiwán, Filipinas e Indonesia; 2. *Candidatus liberibacter africanus*: distribuida en Sudáfrica, Uganda, Kenia, Madagascar y Etiopía; 3. *Candidatus liberibacter americanus*: detectada recientemente en Brasil (Teixeira *et al.*, 2005).

Los síntomas del HLB consisten típicamente en un amarillamiento foliar de una sola rama o de un sector de la copa. Éste se inicia a lo largo de la nervadura y algunas veces puede presentarse un moteado. Los síntomas secundarios consisten en hojas pequeñas y rectas que muestran diferentes patrones cloróticos, semejando a los inducidos por una deficiencia de zinc o hierro (Figura 2). Asimismo, los análisis de hojas de plantas con estos síntomas muestran alto contenido de potasio y baja concentración de calcio, magnesio y zinc. Los árboles con infección crónica tienen follaje disperso, abierto y muestran bastantes ramas y brotes muertos. Los frutos infectados son pe-

queños y tienen un sabor amargo, muchos caen prematuramente, y los que permanecen sobre el árbol no colorean apropiadamente y permanecen verdes en el lado de la sombra. El sistema radical es reducido, con pocas raíces fibrosas, posiblemente porque el nuevo crecimiento es suprimido y las raíces a menudo decaen desde las raicillas (Bové, 2006).



Figura 2. Síntomas de amarillamiento que semeja una deficiencia de zinc (A) y moteado irregular (B) observados en los árboles de lima persa infectados con HLB y adultos de *Diaphorina citri* (C) y ninfas (D) del insecto vector encontrados en los mismos árboles

La enfermedad ocurre en todas las especies de cítricos. Sin embargo, se ha reportado principalmente en naranjo dulce, observándose síntomas foliares más severos en el naranjo Valencia que en el Navel, y es particularmente severa en mandarinas y tangelos (*C. sinensis* x

C. reticulata), pero menos sobre limón (*C. limon*), lima rangpur (*C. limonia* Osbeck) y calamondin (*C. madurensis* Lour). Las especies menos afectadas son la lima ácida (*C. aurantifolia*) y naranjo trifoliado (*P. trifoliata*), los cuales desarrollan solamente moteado foliar (Bové, 2006).

El patógeno es transmitido por adultos y ninfas del cuarto y quinto instar de dos psílidos, *Diaphorina citri* y *Trioza eritreae*. También se transmite por injerto o por cuscuta (Bové, 2006; Pelz-Stelinski *et al.*, 2010) y se ha observado que la enfermedad se comporta en forma de agregados en el campo (Lama *et al.*, 1988), debido en parte al comportamiento del vector.

Las estrategias de manejo de esta enfermedad están dirigidas en primera instancia a la detección y eliminación oportuna de plantas infectadas (Bové, 2006). Sin embargo, la eliminación de plantas como estrategia de control no es viable económicamente cuando la enfermedad se distribuye ampliamente en una región y su incidencia es elevada. Otras estrategias como el manejo del vector (Lama *et al.*, 1988), la protección cruzada (Van Vuuren y Manicom, 2005), así como la inyección de antibióticos a los árboles infectados han sido evaluadas. Sin embargo, los altos costos por la inyección de antibióticos y del manejo del vector considerando los bajos niveles de infestación, así como la baja eficiencia de transmisión del vector, cuestionan la viabilidad de estas estrategias de manejo, por lo que se siguen demandando alternativas de manejo de la enfermedad, basadas en el uso de plantas tolerantes o resistentes, y la búsqueda de productos químicos o naturales más económicos para el manejo de estos patógenos que deben ser evaluados bajo las condiciones de producción agrícola de nuestro país.

En la Unidad Sureste del CIATEJ se ha trabajado en la generación de conocimiento que permita diseñar estrategias de manejo del HLB bajo las condiciones de nuestro país; para ello se realizó la búsqueda y detección oportuna de plantas con síntomas de HLB, en los 10 municipios citrícolas más importantes del estado de Campeche, abarcando 577 ha de producción. Se determinó la fluctuación poblacional del

vector en tres plantaciones de lima persa mediante trampas amarillas y exploración directa de brotes; los resultados demuestran que el mejor método para estimar la población de *D. citri* fue el empleo de las trampas amarillas, y que la humedad relativa es uno de los factores ambientales más importantes para el incremento de la población del insecto en las plantaciones de lima persa en los meses de mayo-agosto, a diferencia de las condiciones de temperatura, que parecen no tener efecto significativo. Los estudios que se realizaron en la península de Yucatán permitieron determinar que la especie de HLB presente en la región es *Candidatus liberibacter asiaticus*, con 99% de identidad, con aislados reportados en la base de datos con Núm. de accesión AB555706.

En esta investigación se comparó la producción de tres ecotipos de lima persa del estado de Campeche, sin encontrar diferencia estadística significativa entre las plantaciones evaluadas en relación con los testigos, por lo que se concluye que la baja producción de las plantaciones de lima persa no se debe a problemas de ecotipo. Finalmente, en la búsqueda de productos químicos más económicos para el control del HLB se evaluaron dos activadores de la respuesta sistémica inducida (metil-jasmonato y ácido salicílico), las pruebas realizadas en invernadero y bajo condiciones de campo, sugieren que el ácido salicílico tiene potencial para ser utilizado en el manejo del HLB, ya que disminuyó el título bacteriano a concentraciones no detectables por PCR tiempo real.

1.3.2. Aprovechamiento de cítricos y subproductos de su industrialización para la extracción de metabolitos de interés comercial

Por tradición, la sociedad mexicana realiza el consumo en fresco de los diferentes cítricos producidos, o en forma de jugo recién exprimido. Sin embargo, esta tendencia empieza a modificarse y ahora la adquisición de jugos embotellados es cada vez mayor, debido a la practicidad e higiene. Pese a esta tendencia, la industria mexicana de jugos presenta serios problemas para mantener el ritmo de crecimiento, ya que

las plantas procesadoras nacionales están diseñadas sólo para la producción de jugo fresco o concentrado, dejando de lado la producción de otros productos derivados de los cítricos que aumentan el valor del proceso global. En la Figura 3 se muestran el uso y las perspectivas de aprovechamiento integral de los cítricos para México.

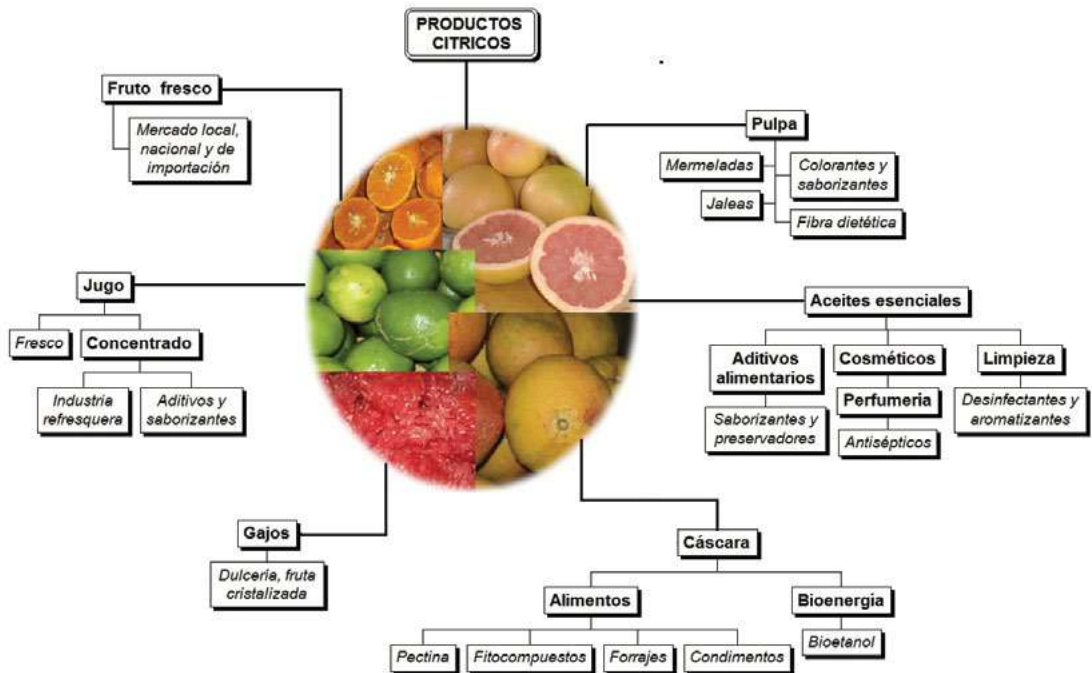


Figura 3. Uso y perspectivas de aprovechamiento integral de los cítricos en México

En Yucatán, la principal industria procesadora de cítricos es la Unión de Ejidos Citricultores del Sur, ubicada en Akil, Yucatán; en su planta se realiza la obtención de aceites esenciales y jugo concentrado congelado de los principales cítricos producidos en el estado. Esta agroindustria genera una cantidad considerable de subproductos

pues las frutas procesadas tienen una pequeña fracción comestible y una gran proporción de material residual tal como cáscaras y semillas, generando residuos de hasta 50% de la fruta procesada. Desafortunadamente, muy poco de estos residuos es utilizado en otros procesos o en la alimentación de ganado vacuno, y la mayor parte es trasladada a terrenos donde se descompone de manera natural. Considerando que el material de desecho de los cítricos está constituido principalmente por cáscaras, semillas y membranas capilares, es posible obtener harinas cítricas, pectina cítrica, aceites esenciales, pigmentos y productos cítricos especiales como metabolitos secundarios y compuestos bioactivos que tienen efectos benéficos sobre la salud (Figura 4).

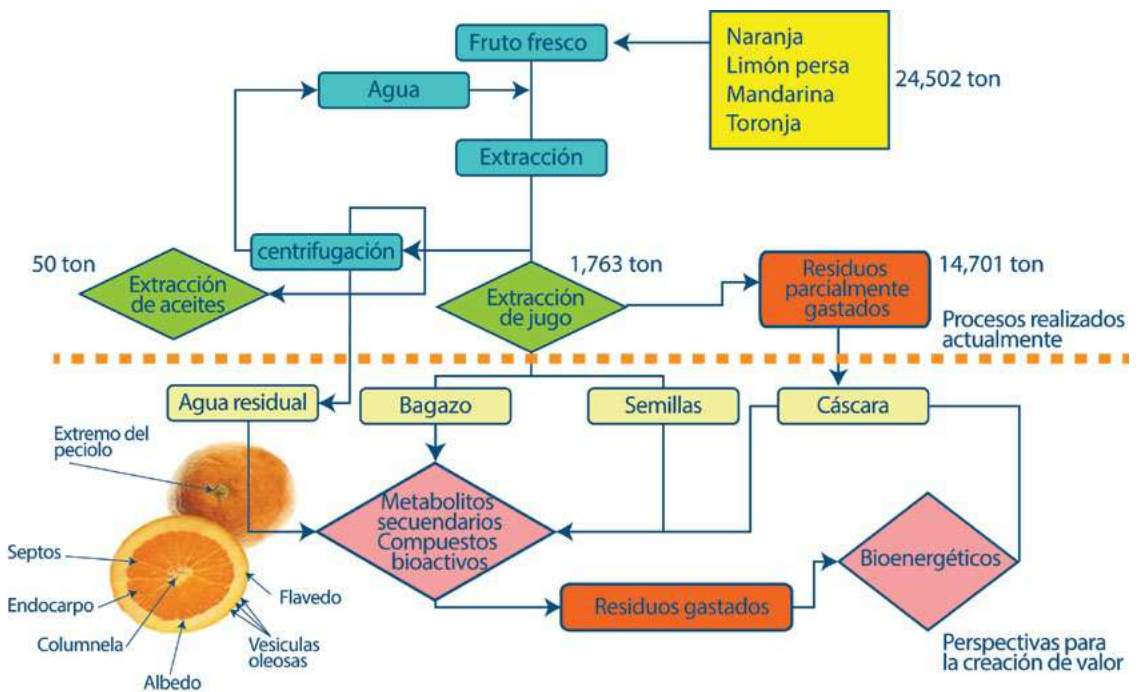


Figura 4. Diagrama de proceso y perspectivas de creación de valor para la planta procesadora de cítricos de Akil, Yucatán, México

En esta sección se muestran los estudios realizados en la Unidad Sureste del CIATEJ, para evaluar, tanto los frutos frescos de las diferentes variedades de cítricos cultivados en la península de Yucatán, como las harinas elaboradas a partir de residuos de su procesamiento, con el fin de determinar su potencial como posibles fuentes de metabolitos secundarios para el desarrollo de alimentos funcionales, o nuevos productos con cualidades desinfectantes y antiparasitarias.

Los metabolitos secundarios son biosintéticamente derivados de los primarios, pero su distribución en el reino vegetal es limitada y normalmente está restringida a un grupo taxonómico en particular; a diferencia de los metabolitos primarios, los secundarios no son esenciales para el crecimiento de la planta y a menudo su función no es totalmente clara. Sin embargo, muchos de los metabolitos secundarios de las plantas actúan como mediadores en las interacciones entre la planta y el medio ambiente; algunos sirven como atrayentes de los polinizadores, unos más limitan el crecimiento de otras especies vegetales, o sirven como defensores químicos contra el ataque de insectos, de animales herbívoros o de microorganismos (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2003). Un área de investigación en crecimiento en el mundo se enfoca en el desarrollo de métodos de extracción y recuperación de metabolitos secundarios de origen cítrico, como limonoides, flavonoides y carotenoides.

Limonoides

La variedad, complejidad y evolución de la mayoría de las enfermedades fúngicas de las plantas han propiciado el continuo desarrollo de medidas para su control. El control químico es parte de las estrategias para el manejo integrado de estas enfermedades (Agrios, 2001; Tripathi y Dubey, 2004), aunque la tendencia actual es reducir los efectos adversos ocasionados por su utilización, y esto ha llevado a la necesidad de desarrollar otro método de protección (Kim *et al.*, 2003). Una de las soluciones que se han propuesto consiste en usar extractos vegetales ricos en metabolitos secundarios para el desarrollo de fungicidas de origen botánico.

Los limonoides son metabolitos secundarios producidos por las plantas del orden de los Rutales y en la familia Rutaceae se encuentran los limonoides cítricos (Ohta *et al.*, 1993; Bagge, 1998; Ruberto *et al.*, 2002). Químicamente, los limonoides son triterpenos pentacíclicos altamente oxigenados (Ruberto *et al.*, 2002; Roy y Saraf, 2006).

Los limonoides tienen un amplio rango de actividades biológicas, entre las que destacan la inhibición del crecimiento de tumores cancerígenos en el estómago, intestino delgado, colon, pulmón y piel en animales de laboratorio (Hsu *et al.*, 1998; Berhow *et al.*, 2000; Schoch *et al.*, 2002). Otra actividad que presentan es la inhibición de la alimentación y regulación del crecimiento en termitas e insectos, incluyendo al escarabajo de la papa, al gusano de la mazorca del maíz, a los gusanos de otoño y a la larva del gusano del tabaco (Berhow *et al.*, 2000). Además, poseen propiedades antibacterianas, antivirales y antifúngicas (Zhao *et al.*, 1998; Ruberto *et al.*, 2002).

De los cítricos y sus híbridos se han aislado 53 limonoides, de los cuales 36 son agliconas y 17 glucósidos; se han obtenido de semillas, raíces, tallos, corteza e incluso de frutos (Rouseff y Navgy, 1982). Los principales limonoides son: limonina, nomilina, obacunona y deacetilnomilina, todos ellos se encuentran en grandes cantidades en los subproductos del procesamiento de los cítricos (Rouseff y Nagy, 1982; Berhow *et al.*, 1994; Berhow *et al.*, 2000; Ruberto *et al.*, 2002). La limonina fue el primer compuesto caracterizado de este grupo fitoquímico y es responsable de la amargura del jugo de los cítricos (Berhow *et al.*, 2000). Su concentración varía dependiendo de la fracción que se analice, en las semillas constituye del 0.5 al 1% del peso seco, mientras que en los otros tejidos es de 0.05-0.2% y en los jugos la concentración es más baja (1-50 ppm). Se encuentra principalmente en los cultivos cítricos tales como toronja y naranja valencia (McIntosh y Mansell, 1997).

Con base en estos antecedentes, a fines de 2004 en la Unidad Sureste se inició un proyecto con apoyo de la procesadora de la Unión de Ejidos Citricultores del Sur del Estado dirigido hacia la obtención de metabolitos a partir de subproductos de la industria procesadora de

naranja y la evaluación de su actividad antifúngica contra hongos del género *Phytophthora* y otros hongos fitopatógenos. Con este proyecto se iniciaron las investigaciones enfocadas al aprovechamiento de los residuos del procesamiento de cítricos para la obtención de metabolitos de interés biotecnológico.

Durante el desarrollo experimental se utilizaron dos metodologías para la obtención de extractos a partir de diferentes tejidos de naranja dulce. Se determinó que la extracción de limonoides a partir de la harina previamente desengrasada de la mezcla de cáscara, bagazo y semilla, y su posterior fraccionamiento con diclorometano, permite obtener 6.9 g de extracto crudo por cada kilo de subproducto seco y desengrasado. Este extracto contiene limonina y nomilina; además, presuntamente se encuentran deoxilimonina, deacetilnomilina y obacunona.

Al evaluar el extracto obtenido contra hongos fitopatógenos se encontró que la diferencia en la sensibilidad de cada hongo está dada por la propia naturaleza del inhibidor, resultando *Fusarium* sp. y *P. parasitica* (Figura 5) los hongos con mayor inhibición en su crecimiento, ya que en presencia del extracto a una concentración de 4 mg/ml de medio se obtuvieron inhibiciones del $51.35 \pm 0.77\%$ y del $57.55 \pm 0.87\%$, respectivamente. Por otro lado, la inhibición del crecimiento micelial de *Aspergillus niger* fue de $43.99 \pm 0.58\%$ mientras que *Rhizopus stolonifer* fue únicamente inhibido en un $20.14 \pm 0.46\%$. La Mínima Concentración Inhibitoria (MCI) fue de 2.5 mg/ml para *A. niger*, *Fusarium* sp. y *R. stolonifer* y de 0.31 mg/ml para *P. parasitica*.

Los resultados derivados de este estudio demostraron que los extractos crudos ricos en limonoides obtenidos con solventes orgánicos a partir de las fracciones de los subproductos de la naranja dulce poseen actividad inhibidora del crecimiento micelial sobre las especies de hongos (*A. niger*, *Fusarium* sp., *R. stolonifer* y *P. parasitica*), que afectan los cultivos de interés económico. Por ello estos extractos podrían ser utilizados como un ingrediente para la formulación de fungicidas de origen botánico, contribuyendo con ello a la conservación del medio ambiente.

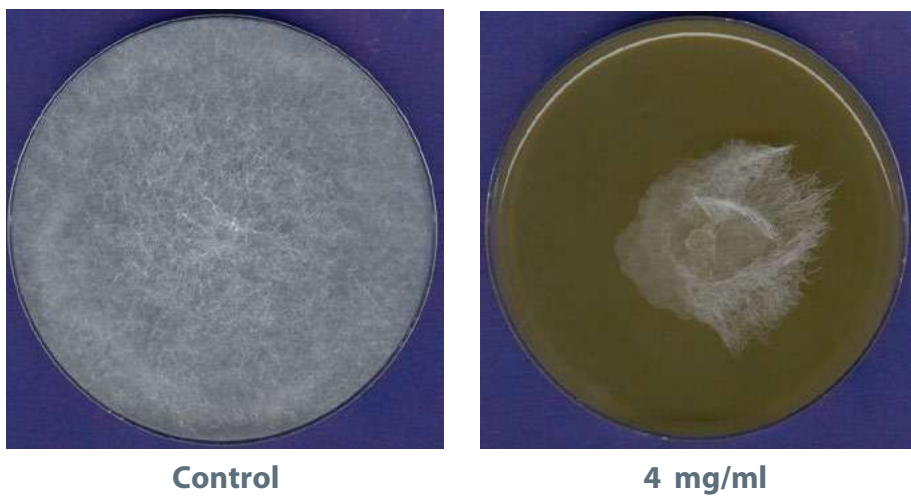


Figura 5. Inhibición del crecimiento micelial de *Rhizopus stolonifer* causada por el extracto orgánico obtenido de las cáscaras de naranja dulce, a los 2 días de incubación a 32 ± 2 °C

Flavonoides

Los flavonoides son uno de los dos más grandes grupos de compuestos fenólicos, derivados del benzo- γ -pirano. Son sustancias de origen vegetal que le dan los colores (rojos, azules, amarillo) a las flores y las hojas de otoño cuyo nombre deriva del latín flavus, amarillo. Son abundantes en las especies de *Polugonaceae*, *Rutaceae*, *Leguminosae*, *Umbelliferae* y *Compositae*. Poseen varios grupos hidroxilos enlazados a estructuras anulares, $C_6-C_3-C_6$. Dependiendo del grado de oxidación y de sustitución del anillo pirano central, los flavonoides pueden subdividirse en flavonas, flavonoles, flavanonas, chalconas y antocianinas. Se encuentran tanto en estado libre como glicosilado y junto con los ácidos fenólicos constituyen el grupo más amplio de los fenoles naturales.

La extracción de los diferentes flavonoides se realiza a partir del material fresco o seco, siempre y cuando no se altere su composición. Se utilizan inicialmente disolventes no polares o ligeramente polares

para separar las clorofilas, gomas y agliconas de flavonoides altamente metoxilados. Existen muchas técnicas para identificar los flavonoides, entre ellas se encuentran las reacciones de coloración y precipitación, espectrofotometría ultravioleta, espectrofotometría infrarroja, espectrometría de masas, difracción de rayos X, y resonancia magnética nuclear, entre otros. Pero las reacciones de coloración también pueden usarse para evidenciar la presencia de flavonoides; una de las más específicas es la reacción de Shinoda, de la que resultan coloraciones características según el tipo de núcleo de los flavonoides (Ebel, y Hahlbrock, 1982).

Los denominados citroflavonoides se encuentran principalmente en la cáscara de los cítricos. En la Figura 6 se muestra la estructura química de los principales citroflavonoides aislados. Las gliconas son disacáridos reductores, mientras sus correspondientes agliconas o geninas son flavononas deglicosiladas que tiene efectos vasoprotectores los cuales ayudan a reducir los niveles de colesterol; se les atribuyen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas.

En los estudios de investigación que se han realizado en el CIATEJ para la obtención de flavonoides se han empleado tanto residuos de la industrialización de diferentes variedades de cítricos, en forma de cáscara y bagazo, como frutos enteros producidos en la península de Yucatán. En el primer trabajo de investigación se obtuvieron extractos etanólicos y aceites esenciales por arrastre de vapor y prensado mecánico a partir de mezclas de cáscaras, bagazo y semillas de naranja, mandarina y toronja, los cuales sirvieron para la formulación de un desinfectante para cítricos. A éstos se les determinó su contenido de metabolitos de interés con actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis* y *Candida albicans*, caracterizando su contenido de compuestos volátiles para los aceites esenciales y flavonoides en estos extractos etanólicos.

Todos los extractos etanólicos probados presentaron actividad inhibitoria a concentraciones mayores a 200 mg/ml para las cepas probadas (*S. aureus*, *E. coli*, *S. enteritidis* y *C. albicans*). El solvente utilizado se empleó como control negativo y éste no inhibió el crecimiento de

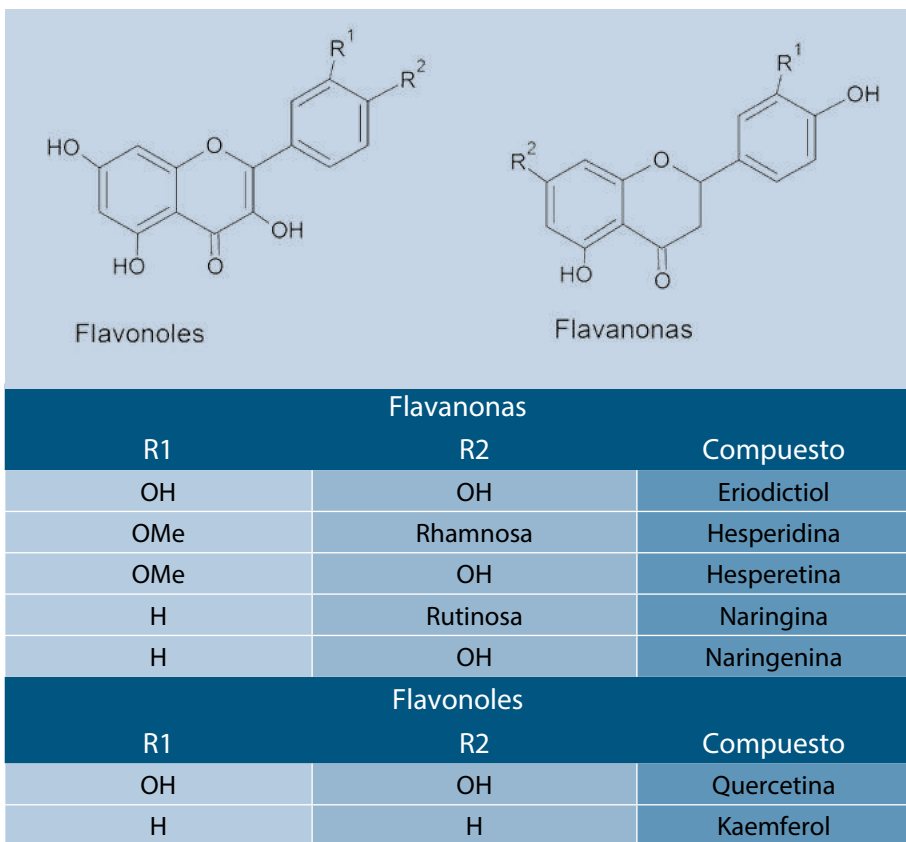


Figura 6. Principales flavonoides encontrados en cítricos

ninguno de los microorganismos, por lo tanto, la inhibición presentada es producto de los extractos. En todos los casos el microorganismo más resistente a los extractos evaluados fue *C. albicans*. El mejor resultado se logró con los extractos etanólicos obtenidos de residuos de toronja (Figura 7).

Los extractos seleccionados para la formulación del desinfectante fueron: extracto etanólico de toronja y aceite esencial de toronja obtenido con arrastre de vapor. Para su selección se consideró tanto el rendimiento de extracción como la actividad antimicrobiana presentada. Los desinfectantes formulados fueron caracterizados

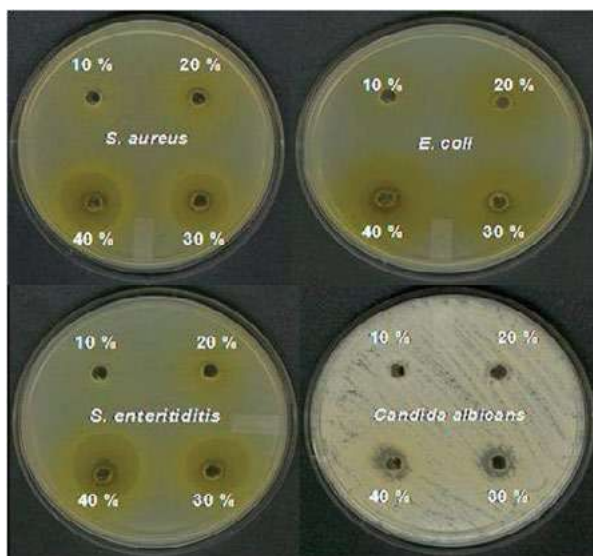


Figura 7. Inhibición de crecimiento de diferentes microorganismos aplicando los extractos etanólicos de toronja obtenidos de los mejores tratamientos

fisicoquímica y toxicológicamente; así mismo, se les realizaron pruebas de irritabilidad dérmica, irritabilidad ocular y genotoxicidad (Tabla 1).

La eficiencia de los desinfectantes formulados se evaluó sobre frutas cítricas; disolviendo 10 ml de producto/L y remojando las frutas en esta solución durante 5 min, los microorganismos mesófilos aerobios se vieron disminuidos de 63.3% a 86.66%, mientras que los organismos coliformes totales disminuyeron de 78.52% a 95.83%, con lo que se constata que los desinfectantes prototipo elaborados con aceite esencial de toronja y con extracto etanólico de toronja disminuyen el número de mesófilos y coliformes presentes en la epidermis de la naranja, limón y toronja (Tabla 2).

Adicionalmente, se evaluó la compatibilidad de los dos desinfectantes formulados con superficies de acero inoxidable, no observándose signos visibles de corrosión u oxidación después de 15 días de contacto con el producto.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica y toxicológica de los desinfectantes de toronja formulados

Parámetro	Desinfectante de toronja	
	Extracto etanólico	Aceite esencial
pH	4.31 ± 0.03	2.77 ± 0.03
Densidad (g/cm ³)	1.17 ± 0.0	0.983±0.0
Olor	Cítrico	Cítrico
Color	Verde olivo	Blanco
Biodegradabilidad (%)	93	97
Clasificación toxicológica	No tóxico ni genotóxico	No tóxico ni genotóxico
Irritación dérmica	Ligeramente irritante	No irritante
Irritación oftálmica	Ligeramente irritante	Ligeramente irritante

Tabla 2. Eficiencia de los productos formulados en la desinfección de frutos cítricos

Fruta desinfectada	Microorganismo	Producto desinfectante (% de eficiencia)		
		Comercial	Extracto etanólico	Aceite esencial
Limón	Mesófilos aerobios	97.05 ± 5.37	63.31 ± 2.98	84.22 ± 3.44
	Coliformes totales	100 ± 0	81.19 ± 4.39	78.52 ± 10.44
Naranja	Mesófilos aerobios	99.46 ± 0.94	86.66 ± 2.25	37.74 ± 5.83
	Coliformes totales	100 ± 0	86.23 ± 8.34	81.86 ± 4.74
Toronja	Mesófilos aerobios	87.50 ± 16.6	81.30 ± 15.32	81.99 ± 6.06
	Coliformes totales	100 ± 0	95.83 ± 5.89	95.26 ± 5.49

Como principal resultado de esta investigación se cuenta con una solicitud de patente (MX/a/2010/013959), además de un estudio de prefactibilidad técnico-económico que permitirá dirigir las futuras investigaciones para el desarrollo de productos antimicrobianos.

Con la finalidad de agregar valor al procesamiento agroindustrial realizado en la juguera de Akil, se realizó un segundo estudio, éste consistió en la obtención de extractos flavonólicos y polifenólicos de los residuos industriales de cítricos de Yucatán para la elaboración de un producto con cualidades desinfectantes y antiparasitarias. En este caso los esfuerzos se enfocaron en determinar la actividad antimicrobiana de los extractos frente a soluciones diluidas del microorganismo tal y como se pueden encontrar en vegetales o agua sin desinfección. Las pruebas de desinfección se realizaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-181-SSA1-1998, salud ambiental y agua para uso y consumo humano. Esta metodología se empleó debido a que es parte de los requisitos sanitarios que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua de tipo doméstico. En esta norma se define como bactericida: a la sustancia o medio que mata o destruye bacterias; bacteriostático: a la sustancia o medio que tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias, sin matarlas o destruirlas, y germicida: al agente químico que destruye microorganismos especialmente patógenos, lo que no necesariamente incluye la capacidad de destrucción de esporas.

Como parte de esta investigación se determinó la composición química, algunos elementos trazas, polifenoles totales, flavonoides y se determinó la eficiencia antirradical utilizando 2,2-difenil-1-picrilhidracil (DPPH) en los extractos obtenidos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y toronja (*Citrus paradisi*). Las muestras presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de humedad, cenizas, grasa y proteína. La cáscara de toronja presentó el mayor contenido de magnesio y carotenoides, mientras que en la de naranja el ácido ascórbico y zinc presentaron valores mayores. Todas las muestras presentaron un alto contenido de polifenoles totales extraíbles (toronja 7.6 y naranja 5.1 g/100 g peso seco). La más alta eficiencia antirradical la presentó la cáscara de toronja, la cual se correlaciona con el contenido de polifenoles (Figura 8).

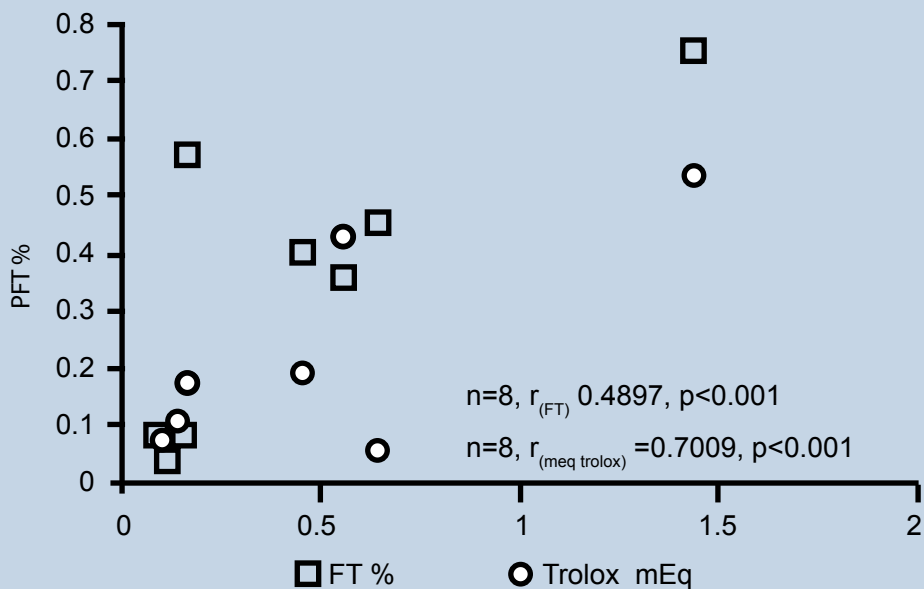
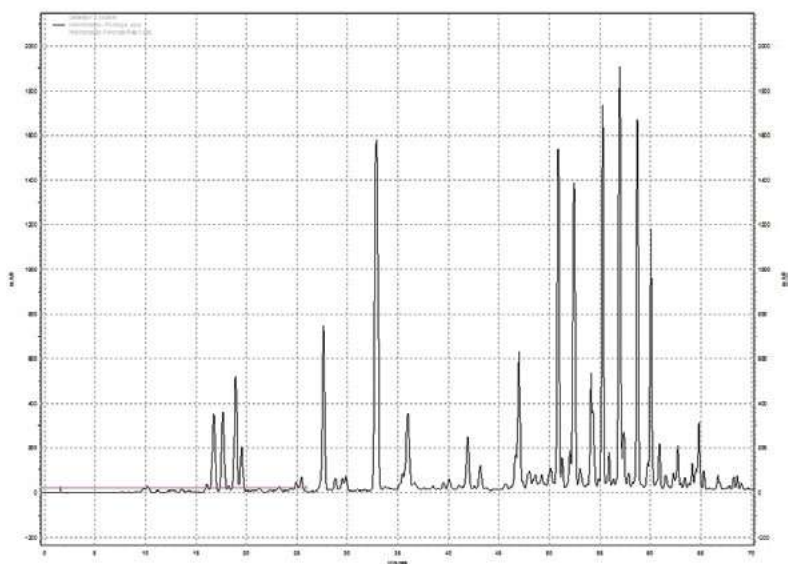


Figura 8. Estimación gráfica del coeficiente de correlación de Pearson (r) para la concentración de Polifenoles Totales (PFT) en relación con el contenido de Flavonoides Totales (FT) y meq de Trolox determinados en residuos de toronja

Estos resultados indican que el extracto de la cáscara de toronja sería el mejor, desde el punto de vista de desinfección, catalogando el producto preparado de acuerdo con la norma oficial, anteriormente mencionada como germicida. Adicionalmente, este producto puede emplearse para la prevención de ciertas enfermedades cardiovasculares y otras asociadas a la oxidación lipídica, debido a su capacidad antioxidante. También es importante destacar que el método de extracción propuesto permite obtener la fracción de agliconas que presenta la mayor actividad antimicrobiana en contra de las cepas probadas (Figura 9). Por otro lado, las muestras de cítricos estudiadas resultan ser una buena fuente de fibra dietética y compuestos fenólicos, cuyo uso podría ser adecuado en la formulación de alimentos funcionales, aprovechando en un solo ingrediente las propiedades de la fibra y los compuestos antioxidantes.

Un tercer caso de investigación, desarrollado en relación con la obtención de flavonoides, fue la extracción de hesperidina a partir de

A



B

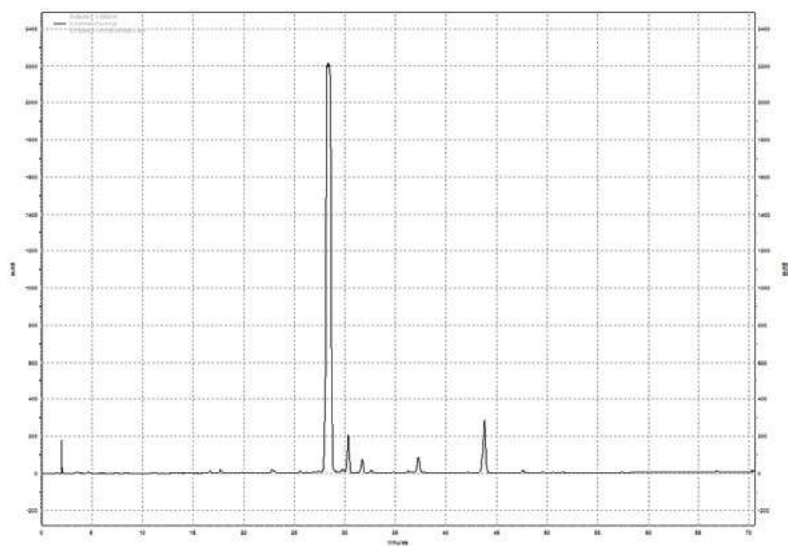


Figura 9. Extracto criogénico metánolico de residuos de toronja.
A) Extracto crudo B) Fracción enriquecida de agliconas

naranja para su posible uso en alimentos funcionales, como aditivo antioxidante. En este estudio se evaluaron diferentes variedades de naranja producidas en Quintana Roo. Los aspectos importantes que se consideraron en el desarrollo de este proyecto estuvieron enfocados en obtener: 1) las condiciones óptimas para la obtención de hesperidina y su almacenamiento para tener un producto funcional; 2) un estudio de factibilidad técnica y económica, que contemplará la ingeniería necesaria para proponer un sistema de producción que permita proyectar un posible escalamiento del proceso, y 3) un análisis sobre la demanda de la hesperidina en el mercado tanto nacional como internacional.

Como parte del desarrollo experimental se realizó la caracterización fisicoquímica de las variedades de naranja hamlin, río farms, marrs, criolla cubana y navel. Se montó la metodología para la extracción de la hesperidina, tanto de jugo liofilizado como de harina de cáscara, de cada variedad de naranja estudiada, empleando extracción sólido-líquido, tanto con etanol como con acetona (ambos a 85%), extracción líquido-líquido con éter de petróleo, seguida de una segunda extracción con hexano acuoso, empleando agua a pH 11.5. Se analizó cualitativa (Shinoda, cromatografía en placa fina) y cuantitativamente (métodos espectrofotométricos UV-VIS y HPLC) el contenido de hesperidina de los tres extractos obtenidos, así como del precipitado formado al concentrar los extractos etanólicos a presión reducida y a pH ácido de cada una de las variedades estudiadas. La hesperidina obtenida en la mejor condición presentó 80% de pureza en los extractos crudos, alcanzándose una pureza hasta de 90% por filtración simple. Se determinó la actividad antioxidante de la hesperidina extraída, empleando el método fluorométrico ORAC, y se caracterizó la hesperidina por cromatografía de gases acoplada a masas e infrarrojo. Los logros alcanzados con este proyecto fueron: contar con un paquete tecnológico para la obtención de la hesperidina a nivel laboratorio. La obtención de prototipo de hesperidina de al menos 80% de pureza. Un estudio de prefactibilidad técnico-económico que permite, en conjunto con el estudio de mercado nacional e internacional, realizar una propuesta de transferencia tecnológica con buenas perspectivas de éxito.

Carotenoides

La creciente demanda de productos alimenticios saludables, incluyendo alimentos funcionales y colorantes naturales, está favoreciendo el incremento del mercado mundial de carotenoides, de tal forma que está proyectado que alcance los 1.3 billones de dólares para el año 2017. Aun cuando los carotenoides producidos por síntesis química dominan el mercado global de carotenoides, se espera que los naturales incrementen su aceptación entre los consumidores debido a la implicación de que son naturales y por ello seguros (Artusis, 2007); además, las propiedades antioxidantes de los carotenoides han impulsado su uso extensivo en la industria alimentaria, donde anteriormente eran utilizados sólo como colorantes; así por ejemplo, el licopeno, un antioxidante recomendado para prevenir el cáncer de próstata, ha obtenido el permiso de las autoridades europeas para ser empleado como un aditivo alimenticio y como agente colorante.

Los carotenoides son los responsables de la mayoría de los colores amarillos, anaranjados o rojos presentes en los alimentos vegetales, y también de las tonalidades anaranjadas de varios alimentos de origen animal (Rodríguez-Amaya, 2001). Desde el punto de vista químico, pertenecen a la familia de los terpenos, están formados por ocho unidades de isopreno, es decir, tienen cuarenta átomos de carbono, y su biosíntesis se produce a partir de isopentenil pirofosfato. Esto ocasiona la presencia de dobles enlaces conjugados y de un buen número de ramificaciones de grupos metilo, situados en posiciones constantes (Durán y Moreno, 2000).

De los carotenoides conocidos, solamente alrededor de 10% tienen valor como precursores de la vitamina A. Consecuentemente, varios de los carotenoides más comunes, como el licopeno, zeaxantina y luteína, no tienen valor como vitamina A, aunque son muy importantes como pigmentos, y pueden tener también actividad como antioxidantes. Los estudios *in vivo* e *in vitro* han demostrado que el papel fotoprotector de los carotenoides está relacionado con su actividad antioxidante o con la modulación de otros antioxidantes celulares, protegiendo células y organismos del daño oxidativo. La protección

se debe a la capacidad de los carotenoides para inactivar radicales libres, sobre todo a bajas presiones de oxígeno, frecuentes en la mayoría de los tejidos bajo condiciones fisiológicas (Gross, 1991).

En la producción de cítricos se pierde de 1 a 5% en las etapas de cosecha y poscosecha debido a que no cumplen con los calibres adecuados para su comercialización o industrialización, o a que presentan daños en la epidermis ocasionados por picaduras de insectos, rasgado por espinas o pedúnculos. Las mermas de toronja roja (var. Star ruby) son de aproximadamente 1,000 toneladas de fruta en los siete meses productivos.

Dados los mencionados beneficios potenciales derivados del uso de carotenoides como sustitutos de los pigmentos sintéticos, aunado a su actividad antioxidante y considerando la posible ventaja de basar su obtención en subproductos de fruta, resulta necesario obtener información sobre la factibilidad de recuperación de estos compuestos. Por lo tanto, se planteó el estudio de la extracción de carotenoides de subproductos o descartes de comercialización, evaluando su actividad antioxidante y su estabilidad al almacenamiento.

Al realizar este proyecto se evaluaron tres metodologías de extracción, dos de ellas basadas en el empleo de solventes orgánicos y otra en la utilización de fluidos supercríticos, resultando que una buena extracción se logra con acetona y posterior fraccionamiento con éter de petróleo, obteniendo el más alto contenido de carotenoides totales (expresado como β -caroteno). Estos rendimientos de extracción mejoran cuando se emplean muestras de naranja y toronja congeladas alcanzando valores de 1.62 y de 2.74% respectivamente, mientras que el contenido de carotenoides totales fue de 5.88 ± 0.22 mg por cada 100 g de puré congelados de naranja y de 17.51 ± 0.22 mg por cada 100 g de puré congelado de toronja.

Sin embargo, aunque los extractos obtenidos de muestras congeladas fueron los que presentaron el mayor contenido de carotenoides durante la evaluación de la actividad antioxidante, se encontró que los extractos obtenidos de muestras frescas presentan mayor

porcentaje de inhibición del radical libre DPPH y del radical superoxi (Tabla 3) comparado con los extraídos de muestras congeladas o secas. Cabe hacer mención que, conjuntamente con los carotenoides, se extraen otros compuestos que pueden tener actividad antioxidante como los flavonoides, pero que dichos metabolitos pueden degradarse durante el proceso de congelación o secado, resultando globalmente en una disminución de su capacidad antioxidante. Los extractos obtenidos de toronja fresca presentaron un mejor desempeño en la reducción de los radicales libres evaluados.

Tabla 3. Actividad antioxidante de los extractos de carotenoides obtenidos de naranja y toronja

Fruto	Pretratamiento	% de reducción del radical	
		DPPH	Superóxido
Naranja	Fresco	5.487 ± 0.177 ^a	4.351 ± 0.128 ^a
	Congelado	2.065 ± 0.102 ^b	2.360 ± 0.256 ^b
	Seco	0.944 ± 0.102 ^c	0.811 ± 0.128 ^c
Toronja	Fresco	9.440 ± 0.102 ^d	6.490 ± 0.128 ^d
	Congelado	3.776 ± 0.270 ^e	2.655 ± 0.221 ^e
	Seco	1.239 ± 0.177 ^f	1.696 ± 0.128 ^f

Letras diferentes en la columna indican diferencia estadística significativa (P < 0.05)

Con miras a la protección durante el almacenamiento de los pigmentos extraídos, se procedió a evaluar como soporte dos almidones comerciales modificados, utilizando un secador por aspersión para obtener microcápsulas. En total, se lograron obtener ocho microencapsulados, cuyos rendimientos se presentan en la Tabla 4.

Los microencapsulados de toronja presentaron mayores rendimientos en los dos soportes y en las dos concentraciones de sólidos probadas. El uso de Capsul^{MR} como soporte mejoró los rendimientos de encapsulamiento de las oleorresinas con respecto de los presentados por Mira Cap. Adicionalmente, el incremento en la cantidad de sólidos de 20 a 30% no mejora de manera importante

Tabla 4. Rendimientos de los microencapsulados de oleorresinas de naranja y toronja en soportes de almidón modificado comercial Mira Cap^{MR} y Capsul^{MR}

Extracto	Soporte	Concentración de sólidos (%)	Rendimientos	
			g	%
Naranja	Mira Cap	20	ND	ND
		30	1.75	5.83
	Capsul	20	2.34	11.7
		30	3.23	10.76
Toronja	Mira Cap	20	6.78	33.90
		30	3.41	11.36
	Capsul	20	4.40	22.00
		30	6.05	20.16

Mira Cap: Almidón waxy modificado; Capsul: Almidón de maíz waxy modificado

el rendimiento de microencapsulación, y en algunos casos como con toronja con Mira Cap a 30% lo disminuye.

Se determinó el color inicial de los microencapsulados obtenidos (Tabla 5), mismos que fueron evaluados durante 3 meses, periodo en el que se detectó ligera disminución en los valores de los parámetros de color L*, a* y b*.

Los resultados de este proyecto permitieron identificar los frutos de desecho de la toronja roja (var. Star ruby) como una fuente potencial de compuestos carotenoides, ya que tanto en rendimiento, actividad antioxidante, como en rendimiento de microencapsulación, fue el que presentó las mayores cantidades, utilizándolo de preferencia en fresco.

1.3.3. Biotransformación de biomasa en bioetanol

En el ámbito mundial se estima que la demanda de bioetanol aumentará 191% para el año 2015, no sólo por el crecimiento en el consumo

Tabla 5. Características de humedad y color inicial de las microcápsulas obtenidas de oleorresina de naranja y toronja en dos almidones modificados comerciales

Oleorresina	Soporte/ concentración de sólidos	Humedad (%)	L*	a*	b*
Naranja	Mira Cap 20%	0.58	93.27	-1.49	12.99
	Mira Cap 30%	3.02	91.28	-1.87	18.4
	Capsul 20%	2.35	90.26	0.19	17.72
	Capsul 30%	0.72	88.50	-0.76	16.46
Toronja	Mira Cap 20%	0.69	90.42	4.06	17.09
	Mira Cap 30%	1.99	88.24	4.88	18.72
	Capsul 20%	0.53	90.86	2.28	13.38
	Capsul 30%	0.49	87.05	3.84	16.28

de combustibles sino también porque es el combustible alternativo más popular. Actualmente, el alcohol etílico o etanol es obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales; hasta ahora se ha logrado la explotación de materiales tales como cereales, maíz, remolacha y caña de azúcar, debido a que estos sustratos poseen una buena cantidad de azúcares biodisponibles y fácilmente fermentables (Demirbas, 2002). Sin embargo, en pocos casos la producción de bioetanol por medio de residuos orgánicos y agroindustriales se ha considerado como una alternativa potencial para proveer energía en forma de biocombustibles. Esto es debido a que a la fecha no se cuenta con sistemas hidrolíticos generales, que logren la obtención de azúcares fermentables a partir de cualquier tipo de biomasa.

Sin embargo, es posible obtener bioetanol a partir de casi cualquier tipo de biomasa vegetal, siempre y cuando se emplee el sistema hidrolítico adecuado para cada residuo (Zerbe y Baker, 1987). Habiendo mostrado algunos ejemplos de los estudios realizados para la obtención y caracterización de los polifenoles, en especial los flavonoides, limonoi-

des y carotenoides. Es claro que los frutos cítricos, además de los carbohidratos simples (fructosa, glucosa y sacarosa), también contienen polisacáridos no amiláceos (PNA), comúnmente conocidos como fibra dietética; el tipo predominante de fibra en los cítricos es la pectina, la cual conforma de 65 a 70% de la fibra total; la fibra restante está en forma de celulosa, hemicelulosa y cantidades trazas de lignina que pueden ser previamente tratados por métodos enzimáticos o físicos que permitan liberar los azúcares fermentables para la producción de bioetanol (Sánchez, 2007).

Existen reportes de la dificultad de hidrolizar biomasa, y cuanto más compleja es la estructura de los polisacáridos que contenga, más difícil resulta su hidrólisis. Sin embargo, una vez lograda la liberación de azúcares, la fermentación alcohólica puede llevarse a cabo por numerosos microorganismos, tanto anaerobios como aerobios facultativos, aprovechando así los azúcares presentes en las distintas formas de biomasa. Por esta razón, el reto ahora es lograr que estas moléculas orgánicas complejas se hidrolicen de modo rápido y económicamente redituable, con el fin de obtener diferentes azúcares para producir bioetanol (Jiménez *et al.*, 1989).

En este sentido, sabiendo que los cítricos constituyen un grupo importante de las cosechas frutales producidas por todo el mundo y que el consumo de productos procesados de cítricos ha aumentado perceptiblemente desde los años 80, logrando un incremento en el procesamiento a nivel mundial de 14%, en las investigaciones realizadas en CIATEJ se contempló el empleo de residuos del procesamiento de cítricos para producir etanol, considerando que los niveles de producción de esta industria han dado lugar a la necesidad del desarrollo de una tecnología del subproducto, que finalmente concurre en la necesidad de disponer de la basura del proceso agroindustrial, obteniendo todo el valor posible de los frutos procesados. Como se ha señalado, en la elaboración de zumo de cítricos en la juguera de Akil se genera un residuo compuesto por bagazo, cáscara y semilla. Los residuos producidos representan alrededor de 35-50% del peso del fruto procesado, 1.5 - 2.5% de pectina y 10-20% de hidratos de carbono libres provenientes del jugo.

En una investigación preliminar se caracterizaron estos residuos agroindustriales para evaluar su potencial aplicación en la producción de bioetanol. En este trabajo se realizaron pruebas a nivel laboratorio con el fin de determinar cuáles factores aumentan la eficiencia del proceso de la degradación de celulosa, ya que actualmente el pretratamiento y la hidrólisis son el principal “cuello de botella” en la producción de bioetanol a partir de biomasa. En este caso se evaluó el efecto de pretratamientos físicos y químicos sobre la eficiencia de sacarificación de los residuos de naranja. Para ello, a los residuos de naranja frescos se les aplicaron diferentes condiciones de pretratamiento a las que denominamos: sin tratamiento (ST) o control, explosión de fibra con agua (EH) y explosión de fibra con amoníaco (EA). Posteriormente, los residuos pretratados fueron sometidos a una sacarificación, empleando microorganismos celulolíticos y pectinolíticos en fermentación semisólida. Se probaron tres diferentes hongos *Aspergillus niger*, *Trichosporon asahii* y un basidiomiceto aislado de residuos de henequén, con el fin de verificar cuál de los pretratamientos tenía mayor efecto sobre la sacarificación del residuo y qué microorganismo resultaba más eficiente en cada caso. Con respecto de la eficiencia encontramos que la mayor sacarificación se logró empleando un pretratamiento de explosión de fibra con vapor de agua, y la posterior hidrólisis realizada por *Aspergillus niger*, obteniendo un aumento de 20% de eficiencia más de sacarificación con respecto de las muestras que no recibieron pretratamiento (Figura 10). Este incremento permitió una buena recuperación de jarabes para su posterior fermentación alcohólica. Sin embargo, el máximo rendimiento de azúcares reductores fue de 35% a las 16 horas, ya que posteriormente hay un descenso debido al consumo de azúcar que emplea el hongo para su crecimiento.

Con estos resultados, y sabiendo que los microorganismos presentan una gran variedad metabólica, dado que se ha encontrado una amplia variedad de compuestos y los sistemas enzimáticos que los generan en distintos aislados microbianos, se decidió continuar con este estudio desarrollando procedimientos que permitieran el aislamiento y selección de microorganismos de interés industrial, por su capacidad de degradar celulosa. Durante el desarrollo de

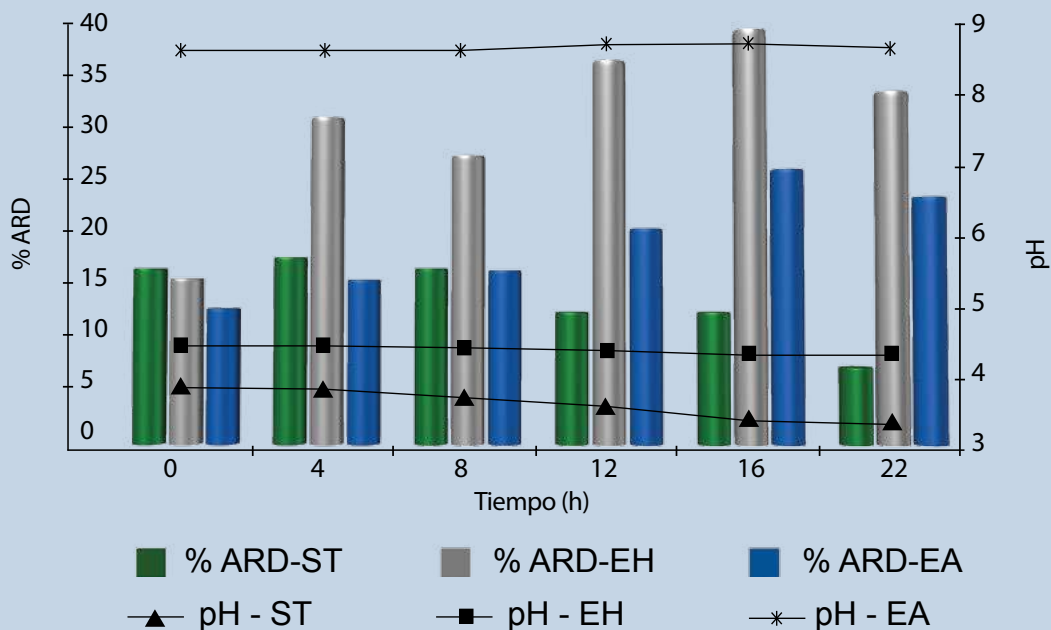


Figura 10. Hidrólisis de residuos de naranja con *Aspergillus niger* (ASN).
 % ARD: azúcares reductores: -ST= sin tratamiento; -EH= explosión con vapor de agua; -EA= explosión con amoníaco

este segundo proyecto, titulado: Generación de bioetanol a partir de residuos cítricos y evaluación de su factibilidad financiera, se lograron aislar 74 cepas microbianas a partir de líquido ruminal de bovino, de las cuales se seleccionaron 24 por su capacidad de degradar polisacáridos en medios sólidos; estas cepas fueron identificadas mediante técnicas moleculares. A nueve de estas cepas se les detectó, por microscopia electrónica, la formación de complejos multienzimáticos del tipo celulosomas y a todas ellas se les verificó su actividad de celulasa, celobiasa y pectinasa.

Finalmente, se eligieron dos microorganismos identificados como B-20B (*Klebsiella* sp.) y B-19B (*Anicetobacter baumannii*) (Tabla 6), por sus mejores capacidades hidrolíticas, debidas a la formación de celulosomas. Se realizaron lisados membranales de estos microorganismos

a los cuales denominamos preparados celulosomales. Para verificar la permanencia en el tiempo de su actividad hidrolítica, una parte del lisado membranal se liofilizó y la actividad hidrolítica de ambos preparados (liofilizado y fresco) se determinó diariamente durante 60 días, con lo que se constató que los preparados celulosomales de *Klebsiella* sp. conservan su actividad hasta por 30 días (Figura 11).

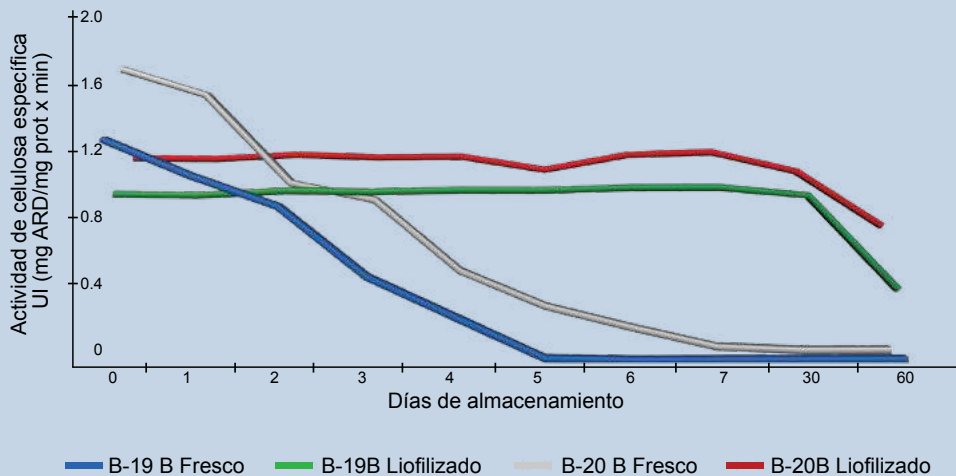


Figura 11. Actividad hidrolítica (UI) de lisados membranales liofilizados y frescos de bacterias ruminales

Estos preparados celulosomales se han empleado para sacarificar residuos cítricos; mediante un diseño experimental se analizó el efecto de la temperatura, la proporción de biomasa/agua y el tipo de preparado celulosomal. Las respuestas que se consideraron para este diseño experimental fueron las diferentes actividades hidrolíticas detectadas en el celulosoma (celobiasa, celulasa y pectinasa). Con los resultados obtenidos establecimos que la mejor actividad hidrolítica se obtuvo utilizando la proporción de biomasa:agua 1:4 y el preparado celulosomal fresco, alcanzándose las siguientes actividades en

conjunto: Celulasa 0.215, celobiasa 0.2 y pectinasa 0.165 en Unidades Internacionales de actividad (UI, $\mu\text{M min}^{-1} \text{ ml}^{-1}$).

Los sacarificados obtenidos contenían 35 g de ARD/L y fueron posteriormente fermentados empleando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 76269. Los resultados indican una modesta eficiencia de fermentación, alcanzando una productividad máxima de 0.405 g EtOH/L h por lo que se considera continuar con la optimización de este proceso para mejorar los rendimientos netos. Adicionalmente se realizó el estudio técnico económico para evaluar la factibilidad de implementación de este método de hidrólisis. El resultado de la factibilidad se resume en la siguiente sección como parte de los estudios de colaboración para el fortalecimiento de la investigación en el área de cítricos.

Tabla 6. Ficha de identificación de las cepas registradas como B-20B y B-19B en el cepario de CIATEJ Unidad Sureste

CEPA	B-20B	B-19B
Origen de aislamiento	1XVM20	2CVM19
Identificación	<i>Klebsiella</i> sp.	<i>Anicetobacter baumannii</i>
Tinción Gram (Cultivo fresco)	+	+
Forma	Bacilo	Bacilo
Agrupación	<i>Streptobacilli</i>	<i>Bacillus</i>
Crecimiento Aerobio	-	+
Crecimiento Anaerobio	+	+
Esporas	+ o -	+
Movilidad	+ o -	-
Catalasa	-	+

El origen de aislamiento indica en el primer carácter el número de aislamiento, en el segundo el sustrato (X: Xilulosa, C: celobiosa) en el tercer carácter la forma de sembrado (V: vertido en placa), en el cuarto carácter la demanda de oxígeno (M: microaerofilia) y las últimas dos cifras se refieren al número asignado a la cepa.

1.4. ESTUDIOS DE COLABORACIÓN PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE CÍTRICOS

La investigación científica debiera ser el punto de partida para la generación de conocimientos útiles para la sociedad. Para lograrlo se deben implementar, de manera sistémica, procesos que incluyan tanto investigación científica básica como de mercado, escalamiento de procesos, ingeniería básica e ingeniería de detalle. Todo esto, para contar con información suficiente con el fin de realizar un análisis de factibilidad económico financiero de cualquier proceso o producto que permita la transferencia tecnológica y posterior implementación en el sector productivo.

1.4.1. Análisis de factibilidad económico financiero

Los inversionistas, cuando van a tomar decisiones sobre el inicio de un nuevo negocio, normalmente se hacen dos preguntas: ¿Cuál es la magnitud del mercado del producto que se va a obtener? y ¿cuál es el orden de las utilidades que se van a generar con el proyecto implementado? Un estudio financiero permite no sólo conocer las respuestas sino simularlas para generar escenarios económicos y de demanda de los productos para optimizar su implementación. De este modo, para tomar una decisión sobre la factibilidad de un proyecto es necesario que éste sea sometido a un análisis multidisciplinario en el que participen diferentes especialistas. Se debe incluir especialistas en el ramo mercadológico para orientar cualquier investigación hacia una aplicación comercial (Figura 12).

Para la realización del proyecto “Generación de bioetanol a partir de residuos cítricos y evaluación de su factibilidad financiera” se inició con una investigación a nivel básico (laboratorio), en el que se determinaron los pasos para la producción de bioetanol, incluyendo los ingredientes a utilizar determinando los balances de materia y energía en ese nivel. Con esos datos se estimaron las operaciones

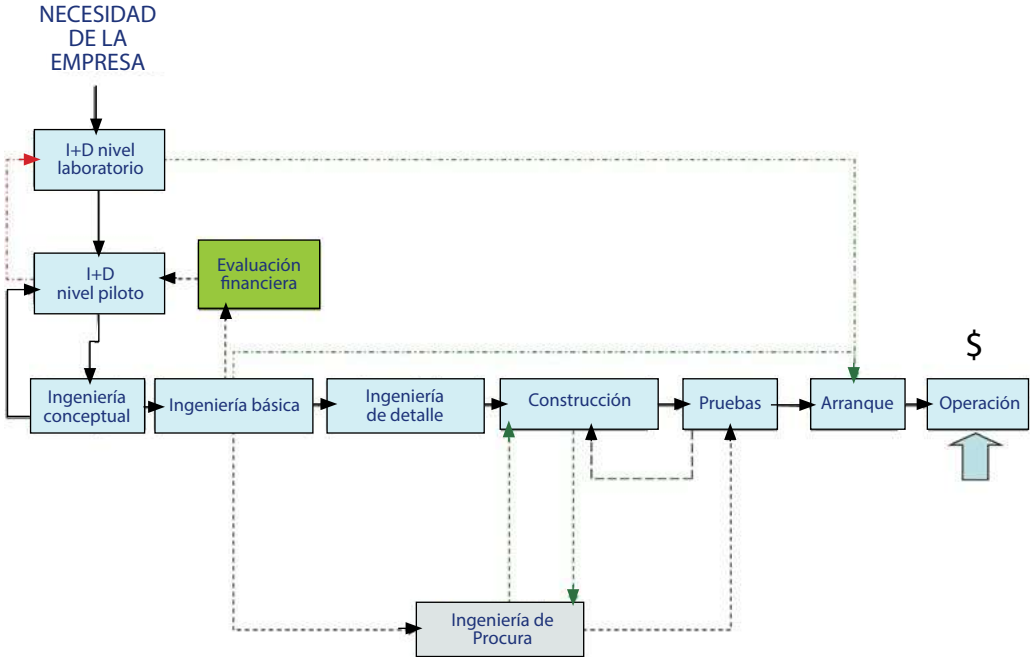


Figura 12. Esquema general de proceso para la realización de una investigación desde el nivel básico hasta su arranque

unitarias requeridas para la elaboración del producto y se construyó un diagrama de proceso tentativo para la producción del bioetanol. A partir de este esquema se determinaron las bases para realizar el análisis financiero, considerando una capacidad para procesar 48 ton/día de residuos de cítricos que serán destinados a la producción de bioetanol, trabajando tres turnos. Con el procesamiento de las 48 ton/día de residuos cítricos se requerirán anualmente 14,400 ton de materia prima y con los rendimientos logrados a nivel laboratorio se producirían hasta 222 ton de etanol. La inversión total estimada del proyecto de acuerdo con esta capacidad de producción se calculó en \$27,815,400.00.

En ese presupuesto se incluye el concepto de asesoría para la elaboración de la ingeniería de detalle, instalación y supervisión de arranque

de la planta, el cual se estimó en 18% del monto de inversión de equipo, solamente que en este caso se requieren \$2'437,400. El capital de trabajo calculado para el proyecto es de \$1'637,000 para el primer año. Para su análisis, este estudio considera un periodo de evaluación de siete años, más el año cero que se considera como periodo preoperativo (que incluye la instalación y puesta en marcha de la planta). Se consideró una curva de experiencia de acuerdo con la capacidad utilizada de: 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 95% durante los primeros seis años de trabajo, respectivamente. Para la operación de la planta se considera la contratación de 30 empleados de mano de obra directa y nueve para mano de obra indirecta, como actividades administrativas.

Para efectos de la realización de este estudio, se consideró el precio de la materia prima como de cero, por ser un desecho industrial. El precio de venta del producto se ajustó hasta que la Tasa Interna de Retorno (TIR) fue positiva. El precio del bioetanol en los mercados internacionales ronda de los 20 a 25 pesos en los países en donde se producen, son subsidiados debido a los altos costos de producción y no pueden ser competitivos con los combustibles fósiles. Es obvio que no se puede considerar un precio equivalente al de la gasolina (aproximadamente 10 pesos el litro), debido a los costos de producción, que en nuestro caso resultó ser de \$46.50/kg de bioetanol en el quinto año.

En este momento no podemos definir si el gobierno mexicano destinará un subsidio a los biocombustibles, por lo que consideramos conveniente ajustar el precio del bioetanol hasta que la TIR diera positiva. El precio del producto se definió en \$60.00 pesos el kg, el cual se correspondió con una TIR de 4.96%. Como resultado del estudio financiero se llegó a la conclusión de que el proyecto no es rentable, pero se recomienda iniciar una segunda etapa de investigación en el tema, orientada a la optimización del proceso, ya que se demostró que es factible desde el punto de vista tecnológico.

Otra investigación realizada a nivel laboratorio en la Unidad Sureste fue el punto de partida para la evaluación técnico financiera del proyecto "Obtención de hesperidina a partir de naranja, para su posible

uso en alimentos funcionales, como aditivo antioxidante”, el cual fue el proceso propuesto para la obtención de la hesperidina y consiste fundamentalmente en la posibilidad de manejar dos procesos de extracción: uno con base agua y otro con base solventes.

En función del proceso se determina el equipo que se requiere para la elaboración del producto y se determina la inversión necesaria, que integrará una planta semiindustrial que permita estimar la prefactibilidad técnica y económica. Para el caso del proceso base agua, el equipo limitante es el secador de residuos o bagazo, que debería integrarse a la planta de proceso semiindustrial. En este caso se consideró una unidad tipo túnel de 378 m² disponibles de superficie de secado, para el cual se estimó una inversión de 7.6 millones de pesos.

Los costos estimados del proyecto son principalmente por el pago de fletes de la materia prima, es decir, residuos cítricos frescos, así como el costo de los aditivos químicos y la energía para el secado principalmente, por lo que se recomienda que para evitar este gasto la planta se integre a un proceso ya establecido para la recuperación de jugos y aceites esenciales.

La proyección de la producción e ingresos de acuerdo con las bases planteadas se realizó a 10 años, iniciando con una curva de aprendizaje de 70% de la capacidad aprovechada e incrementándola en 5% por año. La producción al primer año sería de 4,675 kg de hesperidina, considerando 882 toneladas de bagazo en 200 días de proceso, logrando ingresos potenciales de 3.7 millones de pesos anuales. En función de los costos de producción de la hesperidina, del precio de venta del producto, de la capacidad instalada de la planta y del precio de la materia prima, se calcularon las proyecciones de la generación de utilidades proyectadas a 10 años, en las cuales la rentabilidad del anteproyecto de inversión con el proceso propuesto es favorable, ya que el valor presente neto (VAN) evaluado a una tasa de rentabilidad mínima aceptada de 12% (TREMA) es de \$541 mil pesos. Por otro lado, la TIR financiera resulta del 14.1%, sin embargo, se recomienda mejorar el proceso para aumentar su rentabilidad.

1.4.2. Investigación de mercado

La Investigación de Mercados es una herramienta para ayudar a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones de inversión y permite conocer a qué mercado dirigir su producto, qué empaque es el más adecuado para la imagen de la marca, qué competidores se tienen para el producto, qué producto se va a desarrollar para dirigir hacia allá la investigación científica. En su libro *Investigación de Mercados*, Zikmund(1998) la define como

El proceso objetivo y sistemático en el que se genera la información para ayudar en la toma de decisiones de mercado, este proceso incluye la especificación de la información requerida, el diseño del método para recopilar la información, la administración y la ejecución de la recopilación de datos, el análisis de los resultados y la comunicación de los hallazgos y sus implicaciones.

La Investigación Exploratoria es uno de los tipos de investigaciones de mercado, a menudo la primera parte del diseño total de la investigación tiene como objetivo descubrir ideas y discernimientos; es flexible, versátil y la metodología utilizada son los datos secundarios, técnicas cualitativas y estudios especializados.

En la Unidad Sureste de CIATEJ se han desarrollado dos proyectos en los que se han realizado investigaciones de mercado del tipo exploratoria, a continuación se muestran los resultados de estas investigaciones.

Caso I: Extracción de carotenoides de cítricos

En 2008, durante la realización del proyecto “Aprovechamiento de subproductos de fruta tropicales para la extracción de pigmentos carotenoides” generó una investigación exploratoria denominada “Situación actual en México y a nivel mundial, alternativas de industrialización y comercialización de los carotenoides”.

La investigación mostró las siguientes conclusiones y recomendaciones estratégicas para los carotenoides extraídos de la naranja dulce y toronja:

- Los carotenoides obtenidos de los cítricos pueden presentar una oportunidad de mercado interesante, a pesar de que la mayoría de los extraídos de manera biotecnológica provienen de la zanahoria y el tomate.
- La industria que presenta mayor oportunidad para los carotenoides extraídos de estos frutos es la alimenticia, ya que pueden ser utilizados dentro de los alimentos funcionales en sus distintas presentaciones y en suplementos alimenticios.
- Los carotenoides microencapsulados se utilizan principalmente en la industria alimenticia, sobre todo en el segmento de bebidas y de alimentos para niños. Esto debido a los beneficios que ofrece esta tecnología de aislar los sabores de los nutrientes añadidos.
- La comercialización de subproductos de cítricos ofrece una oportunidad de mercado interesante. En algunos casos se puede comercializar el subproducto de las frutas antes mencionadas sin necesidad de extraer los carotenoides, pero mencionando su contenido y sus beneficios para la salud. Esto, en especial en el uso de suplementos y como agente en los alimentos funcionales. Por otra parte, se pueden extraer los carotenoides y comercializarlos, independientemente de los subproductos de los cítricos.
- Los aceites, por su facilidad de absorción, pueden ser la principal forma de comercialización de carotenoides obtenidos a partir de la toronja y naranja.
- Por tanto, antes de definir una estrategia de comercialización, se sugiere realizar un estudio de campo de los alimentos funcionales y de niños en México para identificar tendencias y necesidades del mercado de productores de esta industria.

Caso II. Extracción de flavonoides y polifenoles en residuos cítricos

Durante el desarrollo del proyecto “Obtención de extractos flavonólicos y polifenólicos de los residuos industriales de cítricos de Yucatán

para la elaboración de un producto con cualidades desinfectantes y antiparasitarias” se realizó a finales de 2009 un estudio de mercado denominado: “Estudio de información documental de los subproductos generados a través de la industrialización de cítricos, específicamente naranja y toronja, para desarrollar nuevos productos bioactivos con propiedades desinfectantes”.

La información arrojada por este estudio nos indicó, para la naranja, que:

- México juega un papel protagónico en la producción y comercio de la naranja en el ámbito mundial. México representa 6.56% de la producción mundial de naranja, que equivale a 64,763,648 toneladas anuales. El mexicano consume al año un promedio de 37 kilogramos de naranja, ocupando el lugar 19 del mundo. Como exportador de naranja, México ocupa el lugar número 21 en el mundo con 28,193 toneladas y el lugar número 51 como importador, con 18,586 toneladas (Fuente: FAOSTAT | © FAO Dirección de Estadística 2008).
- Las opciones para productos envasados en el mercado nacional son amplias para la naranja; no se detectaron productos enlatados.
- Las categorías han sido identificadas por las grandes empresas de cada giro y presentan una amplia variedad de opciones.
- En el mercado nacional las categorías de productos que generan mayor ingreso son los limpiadores para el hogar, las mermeladas y las aguas saborizadas.
- En el mercado internacional para la naranja, el principal producto es el jugo, la tendencia es hacia el jugo fresco, con poco procesamiento, y son los países europeos los que están dispuestos a pagar el plus por este producto premium.
- Existe una necesidad no resuelta en el mercado interno acerca del aceite de naranja por lo que las importaciones de este derivado son muy altas.
- El aceite de naranja que se utiliza como base en algunos limpiadores para el hogar es una buena opción para cubrir la demanda interna no satisfecha, cubierta actualmente con importaciones.
- Los principales componentes industriales de la naranja son: ácido cítrico, flavonoides, aceite esencial, vitamina C, pectina, betacaroteno (pigmentos) y terpeno. El elemento que posee una acción

desinfectante es el terpeno (D-limoneno en las naranjas), con los cuales se pueden comercializar productos con bondades tales como: limpieza de drenajes y alcantarillados, control y eliminación de grasas, control de olores, desengrasante de líneas de producción, limpieza en general, limpieza de equipos de asfalto, remoción de aceite en carreteras y pistas (aviación, carreteras, etc.), lavado de unidades recolectoras de basura, lavado de máquinas automotrices, ferrocarriles, avionetas, etc. y lavado de piezas mecánicas.

La información arrojada en el estudio para la toronja nos indica que:

- México juega un papel protagónico en la producción y comercio de la toronja en el ámbito mundial, ocupando el puesto número cinco. La producción mundial de toronja equivale a 4,977,318 toneladas, de las cuales México representa el 6.29% de dicha producción total anual. El mexicano consume al año un promedio de dos kilos de toronja, ocupando el lugar 31 del mundo. México ocupa el lugar número cinco como exportador de toronja en el mundo con 11,674 toneladas y el lugar número 18 como importador, con 11,511 toneladas (Fuente: FAOSTAT | © FAO Dirección de Estadística 2008).
- Las opciones de toronja procesada reflejan una tendencia hacia dos categorías: jugo-bebidas, y productos que ayudan a la reducción de peso en los humanos.
- Algunas opciones no explotadas en cuanto a la toronja son: alimentos para animal, pulpa de toronja, harina de semilla, pulpa fresca, miel, pulpa deshidratada, follaje, aceite de toronja contra el mosquito del dengue y desinfectantes.
- En el mercado internacional para la toronja el principal producto es el jugo, la tendencia es hacia el jugo fresco, con poco procesamiento y son los países europeos los que están dispuestos a pagar el plus por este producto premium.

1.4.3. EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA DE EXTRACTOS CÍTRICOS

Los extractos cítricos y sus metabolitos pueden emplearse en la formulación de productos desinfectantes, cosméticos e incluso en

medicamentos. Estos productos pueden entrar en contacto con las personas o con otros seres vivos, por lo que es necesario conocer su perfil toxicológico como parte de un análisis de riesgos (Fernández-López *et al.*, 2004). Adicionalmente, bajo esta visión las instancias gubernamentales requieren la evaluación toxicológica y ecotoxicológica como parte de la documentación necesaria para el registro de este tipo de productos, previa a su comercialización (Gómez-Castellanos *et al.*, 2009).

Los estudios toxicológicos que se realizan varían en relación con el tipo de producto; así, para cosméticos a base de extractos cítricos lo más común son pruebas de irritación cutánea, ocular y sensibilización, mientras que para productos desinfectantes se requieren estudios de toxicidad aguda oral y dermal. En el caso de plaguicidas botánicos que contienen en ocasiones extractos cítricos, se requieren además estudios ecotoxicológicos como las pruebas de toxicidad acuática en peces, daphnidos; toxicidad en fauna terrestre y en insectos benéficos.

En CIATEJ, como parte del trabajo multidisciplinario realizado en materia de cítricos, se han realizado estudios toxicológicos generales. A continuación se describen las diferentes metodologías empleadas para verificar la inocuidad de los productos y especialidades obtenidas de cítricos.

Toxicidad aguda por vía oral: La prueba se realiza en roedores de ambos sexos de acuerdo con la metodología 870.1100 establecida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América, EPA por sus siglas en inglés.

Los animales se aclimatan durante siete días previos al inicio del estudio y se distribuyen grupos al azar, se identifican los animales y se retira el alimento 12 horas antes de la administración de la muestra. Se prueban diferentes concentraciones de la muestra, la cual se administra mediante ingestión forzada por vía oral. Se registra el peso de los animales semanalmente y se realizan observaciones de aspecto físico y comportamiento las primeras cuatro horas y durante 14

días, al finalizar este periodo se procede a realizar la autopsia de los animales, para un estudio macroscópico. Si es posible, se determina la dosis letal media (DL_{50}) mediante un análisis estadístico Probit.

Toxicidad aguda por vía dermal: Se utiliza la prueba 870.1200 de la EPA, con un procedimiento similar al utilizado en la prueba de toxicidad por vía oral, con la modificación en la vía de administración, la cual se realiza mediante la aplicación de la muestra en la región dorsal del animal previamente rasurada; la muestra se mantiene en contacto con la piel durante 24 horas, mediante una gasa y posteriormente se enjuaga.

Irritación dérmica: La prueba de irritación dérmica se realiza en flancos depilados de conejos albinos, de acuerdo con el método 870.2500 de la EPA, donde se evalúa el grado de irritación ocasionado por la muestra de prueba, la cual se retira después de cuatro horas y se realizan evaluaciones a las 1, 24, 48 y 72 horas posteriores al retiro de la muestra, con base en una escala de graduación de reacción cutánea.

Irritación ocular: Se utilizan conejos a los que se les instila la muestra en el ojo del animal, de acuerdo con el método 870.2400 de la EPA. La evaluación de la irritación ocular se realiza a las 1, 24, 48 y 72 horas posteriores a la exposición, conforme una escala de evaluación de lesiones oculares que considera afectación en córnea, iris y conjuntiva.

Sensibilización: Un grupo de cobayos se exponen a la sustancia de prueba para un periodo de inducción y posteriormente se realiza un desafío con una nueva exposición a la muestra para evidenciar un estado de hipersensibilidad, de acuerdo con la metodología 870.2600 de la EPA.

Estudios ecotoxicológicos: Los estudios ecotoxicológicos requeridos para evaluar extractos cítricos utilizados en la elaboración de plaguicidas botánicos son las pruebas de concentración letal media (CL_{50}) en peces, daphnidos, lombriz de tierra y abejas. Todas ellas se fundamentan en la exposición de la muestra al organismo de prueba y evaluando las afectaciones en mortalidad. Las metodologías más utilizadas son las de la EPA.

Estudios de genotoxicidad: Las posibles afectaciones al material genético de los organismos se evalúan mediante pruebas de mutagenicidad y de micronúcleos.

En el primer caso se utilizan cepas de *Salmonella typhimurium* manipuladas genéticamente para detectar sustancias que ocasionen corrimiento del marco de lectura del ADN o sustitución de pares de bases (Mortelmans y Zeiger, 2000).

Respecto de la evaluación de genotoxicidad, ésta se realiza mediante la determinación de rompimientos cromosómicos, identificados como micronúcleos, en roedores, de acuerdo con el método “ensayo de micronúcleos en eritrocitos de mamífero”, establecido por la Administración de Drogas y Alimentos.

Otro método para evaluar la genotoxicidad es la electroforesis unicelular o la prueba del cometa, este es un método sensible desarrollado para el estudio del rompimiento del ADN. Implica el agregar células individuales en un portaobjetos con agarosa y observar al microscopio con luz ultravioleta, se mide el grado de migración del ADN nuclear en electroforesis. El grado de la migración es proporcional al número de roturas del ADN y esta evaluación permite la medida indirecta del número de las roturas del ADN en el nivel unicelular. Este procedimiento se ha utilizado extensamente para los estudios de la genotoxicidad y para supervisar la exposición a los agentes perjudiciales del ADN en poblaciones humanas (Giovanelli *et al.*, 2002).

Resultados de estudios de toxicidad de extractos cítricos: Durante ocho semanas se administró 2,000 mg/kg de cada extracto, por vía oral y mediante ingestión forzada. En general los animales no mostraron signos de afectación por las muestras de prueba y no se presentó mortandad en las dosis aplicadas. Al realizar examen *post mortem*, no se evidenciaron lesiones internas y los pesos de los principales órganos fueron normales y uniformes para el lote de animales utilizados. La cuantificación de micronúcleos en las células de los ratones tratados no presentó diferencias significativas respecto del

control negativo, por lo que los resultados indican la no toxicidad de las muestras probadas.

1.5. CONCLUSIONES

A lo largo de estos 10 años de creación de CIATEJ Unidad Sureste se han desarrollado proyectos de investigación estratégica para la producción de cítricos en la región sur sureste del país, se ha tenido la oportunidad de fortalecer una línea de investigación en materia de cítricos, que involucra una visión multidisciplinaria en diversos campos de investigación para mejorar la posición en la cadena de valor de la producción de cítricos. Las investigaciones realizadas han contribuido al conocimiento del manejo de enfermedades de alto riesgo para las plantaciones de cítricos, al desarrollo de la tecnología empleada para su procesamiento, aprovechando integralmente todos sus productos y subproductos. Así mismo, se han realizado tanto estudios de la factibilidad para la implementación de estos procesos como estudios de mercados para el mejor posicionamiento de los productos desarrollados.

Consideramos que el impacto social y económico de estas investigaciones es positivo debido a que el fin que se pretende es alcanzar una mejora en la productividad de los agricultores, comercializadores y transformadores, obteniendo mayores utilidades, las que servirán para mantener la calidad de su producción y mejorar su economía.

Sin duda aún queda un gran camino por recorrer en el estudio de los cítricos de la península de Yucatán por lo que en el CIATEJ se cuenta con la planeación al respecto.

1.6. PROSPECTIVA

En la actualidad existe un nuevo reto en relación con la biotransformación de los subproductos, que permita buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado, fortaleciendo los productos finales de

estos procesos y minimizando en la medida de lo posible los impactos ambientales, encaminados a la sostenibilidad de estos recursos. Los nuevos procesos que se comienzan a desarrollar en CIATEJ están concebidos para convertir subproductos en aditivos alimenticios, biocombustibles y otros productos de importancia comercial.

Los resultados más notables han puesto en evidencia que estos subproductos contienen importantes compuestos fitoquímicos con actividad biológica (antioxidante, antimicrobiana, etc.). Así mismo, se ha observado que la generación de bioetanol con estos subproductos se ve favorecida por la ausencia de flavonoides y pectinas. Por tanto, las investigación se centra en realizar un estudio integral de los subproductos cítricos (cáscara, bagazo y semillas) generados en la Juguera de Akil, Yucatán, con el fin de determinar un esquema de procesamiento secuencial a nivel de laboratorio y escalamiento a nivel de planta piloto, para la obtención de manera independiente de flavonoides, pectina, y posterior aprovechamiento de los residuos gastados para la obtención de bioetanol.

Adicionalmente, en un proyecto paralelo se realizará el estudio de las condiciones para lograr la encapsulación molecular de la hesperidina obtenida de naranja.

Con estos desarrollos se creará un vínculo integral entre el sector académico y empresa, cuyo tema principal es dar valor agregado a los subproductos cítricos, y con ello lograr un mejor aprovechamiento de los recursos renovables. Además, consideramos que dicho proyecto aportará beneficios a productores, empresarios, consumidores y personas relacionadas con esta actividad agrícola, al apoyar la diversificación en la industria citrícola del estado de Yucatán. Adicionalmente, la Unión de Ejidos Citricultores del Sur del Estado y la empresa Frutech International Corporation de México SA de CV han manifestado estar interesados, al finalizar el proyecto, en ser consideradas como un usuario potencial para la tecnología desarrollada.

1.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios GN (2001). *Fitopatología*. México, Editorial Limusa. pp. 220, 221, 244, 266.
- Bagge D (1998). *Limonoids: Pesticide to anticancer applications from secondary metabolites of the Rutaceae and Meliaceae*. Colorado State University. pp. 2, 47.
- Berhow MA; Hasegawa S, Manners GD (2000). *Citrus limonoids functional chemicals in agriculture and food*. Editorial American Chemical Society, Washington, DC. pp. 1.
- Berhow MA, Omura M, Ohta H, Ozaki Y, Hasegawa S (1994). "Limonoids in seeds of three citrus hybrids related to *Citrus ichangensis*". *Phytochem*. Vol. 36, No. 4, pp. 923-925.
- Bové JM (2006). "Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of Citrus". *Journal of Plant Pathology* 88: 7-37.
- Brlansky HR, Chung RK and ME Rogers (2008). Florida Citrus Pest Management Guide: Huanglongbing (Citrus Greening).
- Calabrese Francesco (2002). "Origin and history". In: *Citrus The Genus Citrus*. Giovanni Dugo and Angelo Di Giacomo, Taylor & Francis pp. 1-15.
- Demirbas A (2005). "Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass", *Energy Sources* 27:327-337.
- Ebel J and Hahlbrock K (1982). *The Flavonoids, Advances in Research* (Harborne JB and Mabry TJ, eds) pp. 641-679, Chapman and Hall, London.
- EPA. Acute Dermal Irritation. OPPTS 870.2500.
- EPA. Acute Dermal Toxicity. OPPTS 870.1200.
- EPA. Acute Eye Irritation. OPPTS 870.2400.
- EPA. Acute Oral Toxicity. OPPTS 870.1100.
- EPA. Aquatic Invertebrate. Acute Toxicity Test, Freshwater Daphnids. OPPTS 850.1010.
- EPA. Fish Acute Toxicity Test, Freshwater and Marine. OPPTS 850.1075.
- EPA. Honey Bee Acute Contact Toxicity. OPPTS 850.3020.
- FDA (2000). *Toxicological Principles for the Safety Assessment of Food Ingredients*. Redbook. Mammalian Erythrocyte Micronucleus Test.
- Fernández-López J, Fernández-Gines JM, Aleson-Carbonell L, Sendra E, Sayas-Barbera E, Pérez-Giovannelli L, Cozzi A, Guarnieri LI, Dolara P, Moroni F (2001). "Comet assay as a Novel Approach for studying DNA Damage in Focal Cerebral Ischemia". Differential Effects of NMDA Receptor Antagonists and Poly ADP-Ribose Polymerase Inhibitors. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism* 22:697-704.
- Gómez-Castellanos J (2009). "Health regulation on phytomedicines in Mexico. Background, current situation and perspectives for the year 2025". *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat* 8(1):33-40.
- Halbert SE and Nuñez CA (2004). "Distribution of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Rhynchota: Psyllidae) in the Caribbean basin". *Florida Entomologist* 87: 401-402.

- Hammer KA, Carson CF, Riley TV (1999). "Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts". *J. Appl. Microbiol.* 86:985-990.
- Hsu W-J, Berhow M, Robertson GH, and Hasegawa S (1998). "Limonoids and flavonoids in juices of Oroblanco and melogold grapefruit hybrids". *J. Food Sci.* Vol. 63, No. 1, pp. 57-60.
- Hsu TA (1996). In *Handbook on Bioethanol-Production and Utilization*. Wyman CE, ed., Taylor & Francis, Washington, DC, pp. 179-212.
- Kim J, Marshall MR, Wei C (1995). "Antibacterial activity of some essential oil components against five food-borne pathogens". *J. Agric. Food Chem.* 43:2839-2845.
- Kim BS, Lee JY and Hwang BK (2000). "In vivo control and in vitro antifungal activity of rhamnolipid B, a glycolipid antibiotic, against *Phytophthora capsici* and *Colletotrichum orbiculare*". *Pest Manag. Sci.*, Vol. 56, pp. 1029-1035.
- Kim M-K, Choi G-J, Lee H-S (2003). "Fungicidal property of *Curcuma longa* L rhizome-derived curcuming against phytopathogenic fungi in a greenhouse". *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 51, No. 6, pp. 1578-1581.
- Lama TK, Regmi C and Aubert B (1988). Distribution of the citrus greening disease vector (*Diaphorina citri* Kuw.) 10 IOCV Conference.
- López-Arroyo JI, Peña del Río MA, Rocha-Peña MA, Loera-Gallardo J (2005). "Occurrence of the Asiatic citrus psyllid *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Mexico". In: Proc. 16 th Conference, 508. IOCV, Riverside, CA.
- Lozano C (2008). La utilización de los residuos frutícolas para obtener bioetanol de Segunda Generación, Jornadas Técnicas de Frutas y Hortalizas, Mallorca.
- McIntosh CA and Mansell RL (1997). "Three-dimensional distribution of, limonoate A-ring monolactone, and naringin in the fruit tissues of three varieties of *Citrus paradise*". *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 45, No. 8, pp. 2876-2883.
- Mortelmans K, Zeiger E (2000). "The Ames Salmonella/microsome mutagenicity assay". *Mutat Res.* 455(1-2):29-60.
- Ohta H, Fong CH, Berhow M and Hasegawa S (1993). "Thin-layer and high-performance liquid chromatographic analyses of limonoids and limonoid glucosides in *Citrus* seeds". *J. Chrom.* Vol. 639, pp. 295-302.
- Ohta H, Berhow M, Bennett RD and Hasegawa S (1992). Limonoids in seeds of *Citrus hanaju*. *Phytochem.* Vol. 31, No. 11, pp. 3905-3907.
- Raskin I, Ribnicky DM, Komarnytsky S, Ilic N, Poulev A, Borisjuk N, Brinker A (2002). "Plants and human health in the twenty-first century". *Trends Biotechnol.* 20:522-531.
- Rocha-Peña MA, Lopez-Arroyo JI, Peña del Río MA and Almeida-Leon IH (2005). Current situation on citrus virus and virus-like disease and their vector sin Mexico. Sixteenth IOCV Conference.
- Rouseff RL and Navgy S (1982). "Distribution of limonoids in citrus seeds". *Phytochem.* Vol. 21, No. 1, pp. 85-90.
- Roy A y Saraf S (2006). "Limonoids: Overview of significant bioactive triterpenes distributed in plants kingdom". *Biol. Pharm. Bull.* Vol. 29, No. 2, pp. 191-201.
- Ruberto G, Renda A, Tringali C, Napoli EM and Simmonds MSJ (2002). "Citrus limo-

- noids and their semisynthetic derivatives as antifeedant agents against *Spo-doptera frugiperda* larvae. A structure-activity relationship study". *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 50, No. 23, pp. 6766-6774.
- Sánchez-Contreras A (2007). "Perspectivas en la producción de bioetanol a partir de diversos residuos agroindustriales". In: 1er Foro sobre Bioenergía, 2007, pp. 28-37. Fundación Produce Yucatán.
- Schoch TK, Maners GD and Hasegawa S (2002). "Recovery of limonoid glucosides from citrus molasses". *J. Food Sci.* Vol. 67, No. 8, pp. 3159-3163.
- Sepúlveda-Jiménez G, Porta-Ducoing H, Rocha-Sosa M (2003). "La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas". *Rev. Mex. Fitopatol.* 21(3): 355-363.
- SIAP-Sagarpa (2009). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola por Municipios.
- Texeira DC, Saillard C, Eveillard S, Danet JL, Da Costa PI, Ayres AJ and Bové J (2005). "*Candidatus liberibacter americanus* associated with citrus huanglongbing (greening disease) in Sao Paulo State, Brazil". *International Journal of Systematic and evolutionary microbiology* 55: 1857-1862.
- Tripathi P and Dubey NK (2004). "Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables". *Postharv. Biol. Tech.*, Vol. 23, pp. 235-245.
- Van Vuuren SP and Manicom BQ (2005). The effect of pruning, a *Citrus tristeza virus* isolate and a Citrus viroide isolate on huanglongbing infection. 16 IOCV Conference 362-365.
- Zerbe JI and Baker AJ (1987). In *Energy from Biomass and Waste* X. Klass DL, ed., Elsevier, London, UK, pp. 927-947.
- Zhao W, Wolfender JL, Hastehman K, Xu R and Qin G (1998). "Antifungal alkaloids and limonoid derivates from *Dictamnus dasycarpus*". *Phytochem.* Vol. 47, No. 1 pp. 7-11.
- Zikmun W (1998). *Investigación de Mercados* 6ª Ed. Prentice-Hall Hispano Americana SA.

DESARROLLO DE PRODUCTOS A BASE DE CHILE HABANERO

Reyes-Vázquez N y
Rodríguez-Buenfil I

nreyes@ciatej.net.mx
irodriguez@ciatej.net.mx

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y
Diseño del Estado de Jalisco, Unidad Sureste,
calle 30 Núm. 151, interior Canacintra por 7 y 7 A,
Col. García Ginerés, Mérida, Yucatán, CP 97070*

2.1. RESUMEN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) ha obtenido la denominación de origen, lo que le confiere una ventaja competitiva. Dicho reconocimiento beneficiará tanto al campo como a la industria, por lo que se han desarrollado productos con elevado valor agregado potencialmente transferibles, como salsas fermentadas y pastas de chile habanero estabilizadas con aditivos. Para la fermentación de las formulaciones de chile habanero se emplearon jugos de frutas o miel, utilizando como cultivo iniciador la cepa silvestre *Lactobacillus plantarum* (MCH12), siendo la formulación con mango la mejor en producción de acidez (24 g/l), eficiencia de fermentación (98.7%) y aceptación sensorial. En la estabilización de las pastas se evaluaron aditivos alternos a los sulfitos, para dar lugar a distintas formulaciones y un control. De éstas, la formulación A presentó características fisicoquímicas y una vida de anaquel similares al control con 80 días, a 35 °C y elevada aceptación sensorial sin contaminación microbiana.

Actualmente se están desarrollando proyectos vinculados con la inocuidad del chile, el primero tiene como objetivo evaluar el efecto de extractos naturales y tratamientos térmicos sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica, sensorial y contenido de capsaicina de las pastas, y el segundo forma parte de la Implementación de un sistema alimentario para fortalecer la cadena de valor del chile que incluye la creación y acreditación de unidades de verificación y laboratorio de pruebas, el diseño de manuales de buenas prácticas de manufactura y agrícolas, y un sistema de trazabilidad con el fin de garantizar la inocuidad del producto del campo a la mesa.

Palabras clave: Chile habanero, Salsa fermentada, *Lactobacillus plantarum*, Extractos naturales, Tratamientos térmicos

2. 2. INTRODUCCIÓN

2.2.1 Importancia del chile habanero en la península de Yucatán

México es el tercer productor de chile (*Capsicum*) en sus diversas variedades, después de China y Turquía, y en la región de Yucatán, que comprende los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, tiene una reconocida tradición en el cultivo y consumo del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), el cual se oferta en los ámbitos nacional e internacional.

El género *Capsicum* comprende más de 200 variedades, y que tienen mayor importancia económica son cinco especies: *Capsicum annum* (comprende las variedades Jalapeño y Bell), *Capsicum frutescens* (variedad Tabasco), *Capsicum baccatum* (variedades de Ají), *Capsicum pubescens* (variedades de Manzano y Rocoto) y *Capsicum chinense* (variedades Scotch Bonnet y Habanero) (Dasgupta y Fowler, 1997).

La planta de chile habanero (Figura 1) se define como de ciclo anual, pudiendo alcanzar hasta 12 meses de vida. Su altura oscila entre 75 y 120 cm. Su tallo es grueso, erecto y robusto. Las hojas

son simples, lisas, de forma lanceolada y de tamaño y color variable. Las flores son de color blanco y su tamaño varía entre 1.5 a 2.5 cm de diámetro de corola. Los frutos se clasifican como una baya poco carnosa, son huecos y tienen entre tres y cuatro lóculos; suelen ser de tamaño y forma variables y su color en estado inmaduro es verde, desarrollando colores rojo, naranja o café, una vez maduro. Su sabor siempre es picante, aunque el grado de pungencia o picor depende de la variedad (Tun, 2001).



Figura 1. Aspecto de la flor y frutos verdes y maduros de chile habanero
Fotos cortesía del Dr. José Juan Zúñiga Aguilar

Así, Canto-Flick *et al.* (2008) han confirmado que el chile habanero cultivado en Yucatán produce frutos con mayor nivel de pungencia, del orden de hasta 1,382,889 Unidades Scoville, en relación con lo reportado por otros autores. Este excepcional nivel de pungencia es un atributo de calidad que distingue al chile habanero de otras especies vegetales. Esta característica es identificada como una sensación de calor causado al comer el fruto, siendo el resultado de la presencia de capsaicinoides.

Las características de pungencia y sabor del chile habanero le han conferido una gran aceptación y fama mundial, siendo uno de los vegetales cuya imagen se asocia a México. Recientemente, representantes de Campeche, Quintana Roo y Yucatán solicitaron al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) la denominación de origen; después de un proceso de análisis, el 4 de junio de 2010 el *Diario Oficial de la Federación* publicó la Declaratoria General de Protección a la Denominación de Origen “Chile Habanero de la Península de Yucatán”.

Esta denominación de origen ha planteado la necesidad de desarrollar la Norma Oficial del Chile Habanero “Chile Habanero de la Península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.) Especificaciones y Métodos de Prueba” actualmente en revisión, en donde se indican las especificaciones de calidad fisicoquímicas, contenido de capsaicina y calidad microbiológica que debe de presentar el chile habanero fresco y procesado. En consecuencia, este producto es prioritario para los tres estados de la península de Yucatán, confiriéndole la posibilidad de comercializarlo en el ámbito nacional o internacional.

2.2.2. Situación actual de la producción y comercialización del chile habanero

Actualmente, en la península de Yucatán hay 63 municipios que siembran y cosechan chile habanero, entre los que destacan, según su superficie cultivada, en un rango de más de 30 hectáreas, Tekax y

Tizimín en Yucatán, y Hopelchén en Campeche; en el rango de 15 a 30 hectáreas: José María Morelos en Quintana Roo, y Yaxcabá, Peto, Mérida y Tixméhuac en Yucatán, el resto de los municipios están por debajo de 15 hectáreas (Pymexporta, Secretaría de Fomento Económico. Gobierno del Estado de Yucatán, 2011).

De acuerdo con las cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2009 las tres entidades federativas sumaron 445 hectáreas sembradas, siendo Yucatán la de mayor extensión con 351. La superficie cosechada fue de 423 hectáreas en total, con 5,431 toneladas en producción cuyo valor fue de \$91,623,254 pesos. El principal productor fue el estado de Yucatán con 2,904 toneladas, seguido por Quintana Roo y Campeche con 2,103 y 424 toneladas, respectivamente.

De esta producción, 60% se destina a empresas productoras de salsas de chile habanero, 30% para consumo nacional y el 10% restante se exporta como producto procesado como chile en polvo y pastas (Pymexporta, Secretaría de Fomento Económico, Gobierno del Estado de Yucatán, 2011).

Los mercados internacionales más importantes del chile habanero son: Estados Unidos de América, Canadá, Japón, Corea, Alemania, Italia, España, Inglaterra y Australia. Se hace un especial énfasis en el mercado Japonés, ya que la demanda del producto es muy alta. En 2009 Yucatán exportó 100 toneladas y se espera que en los próximos años esta tendencia se mantenga y aun se incremente.

El Sistema Nacional de Información de Mercados de la Secretaría de Economía, en su portal web, publica los precios del chile habanero en los mercados nacionales e internacionales. Los precios al 25 de mayo de 2012 se presentan en la Tabla 1.

En el contexto internacional, países como Japón, Alemania y Canadá, los cuales son consumidores del producto en polvo, lo utilizan en papas fritas, panes, sopas y dulces debido a su sabor exótico. Otro mercado muy importante para este producto lo constituye el

Tabla 1. Precios de chile habanero en el mercado nacional, mayo de 2012

Presentación	Destino	Precio frecuente \$ (MN)
Kilogramo	Central de Abasto, Mérida, Yucatán	45.00
Caja de 10 kg	Centro Mayorista Oxkutzcab, Yucatán	160.00
Caja de 10 kg	Mercado "Casa del Pueblo", Mérida, Yucatán	380.00
Kilogramo	Mercado de Abastos "Estrella" de San Nicolás de los Garza NL	40.00

MN: Moneda Nacional

estadounidense, especialmente el mercado latino, donde se consume principalmente en fresco. La cotización del producto fluctúa a lo largo del año, reportándose en Atlanta y San Francisco, California, para cartones de 8 libras desde \$3 hasta \$48.4 USD, entre enero a mayo y septiembre, respectivamente.

2.2.3. Descripción de productos frescos y procesados

El chile habanero se consume principalmente como condimento o especia, ya sea fresco, asado o cocido. Tradicionalmente, su sabor y picor han sido atributos reconocidos y apreciados en la cocina yucateca, de aquí que platillos regionales como cochinita pibil, panuchos, salbutes, papadzules, pescado tikinxic y la tradicional salsa xnipek, por mencionar algunos de los más representativos de la región, tienen como toque especial el chile habanero. Asimismo, algunas aplicaciones de su principal componente, la capsaicina (8-metil-N-vanilil-6-nonenamida), han sido asociadas con beneficios potenciales terapéuticos en el tratamiento de cáncer gástrico, tratamiento de va-

rios tipos de dolor, como reumático, neuralgia y neuropatía diabética, y como un agente protector contra células malignas, relacionadas con cáncer de lengua y estómago (Islas-Flores *et al.*, 2005).

Adicionalmente, con base en la denominación de origen, el chile habanero se clasifica por su tipo de presentación en fresco, en estado inmaduro o maduro. Además, en dependencia con el proceso a que se someta el fruto destinado al uso industrial, el producto es designado como: pasta, deshidratado entero y en polvo, encurtido y en salsas.

Los productos protegidos son los siguientes:

a) Chile habanero en fresco de la península de Yucatán

Los frutos frescos maduros e inmaduros se obtienen seleccionando aquellos que son sanos, limpios, enteros y que presentan las siguientes características: longitud, ancho y espesor promedio de 4.5 a 6 cm, 2.5 a 3 cm y 1.5 a 2 mm, respectivamente (Figura 2). El color del fruto está determinado por la presencia de carotenoides y antocianinas,



Figura 2. Aspecto del chile habanero fresco entero, de la península de Yucatán

los que en diferentes proporciones dan lugar a diferentes colores tales como naranja o rojo. Su contenido de capsaicina es superior a 6.5 mg capsaicina/g peso seco (104 650 Unidades Scoville) cuando la fruta es verde, y superior a 12.5 mg capsaicina/g peso seco (201,000 Unidades Scoville) cuando la fruta se encuentra en estado de maduración completa.

b) Chile habanero en pasta de la península de Yucatán

La pasta o puré de chile habanero es un producto de consistencia espesa o fluida obtenida de la molienda del chile habanero, en madurez adecuada, sano y limpio, el cual ha sido descabado (eliminación del pedúnculo), lavado y desinfectado, sometido o no a tratamientos térmicos, y adicionado o no con aditivos para alimentos (Figura 3).



Figura 3. Pasta de chile habanero, verde, naranja y roja, de la península de Yucatán. Fotos cortesía de Industria Agrícola Maya SA de CV

c) Chile habanero en polvo de la península de Yucatán

El chile habanero deshidratado de la península de Yucatán es obtenido de la eliminación total o parcial del agua del fruto del chile habanero mediante métodos naturales o artificiales. Los frutos deben de ser frescos, sanos y limpios, enteros o divididos, y con madurez fisiológica. El método más común de deshidratado es el siguiente: recepción, selección, lavado, enjuague, rajado (opcional), extendido, deshidratado y pulverizado (Figura 4).



Figura 4. Diferentes presentaciones de chile habanero deshidratado, de la península de Yucatán, entero, hojuela y en polvo.
Fotos cortesía de Industria Agrícola Maya SA de CV

d) Chile habanero curtido de la península de Yucatán

El chile habanero curtido, de la península de Yucatán, es obtenido mediante métodos naturales o artificiales. El método más común es recepción, lavado, enjuague, escaldado, rajado (etapa opcional) e inmersión en salmuera o vinagre.

e) Chile habanero en salsas de la península de Yucatán

El proceso de elaboración de la salsa de chile habanero de la península de Yucatán inicia desde la recepción de la materia prima, seguido del acondicionamiento de ésta para su proceso final. Las etapas del proceso son las siguientes: recepción, selección, prelavado, lavado, enjuague, escaldado (etapa opcional), molienda y mezclado.

Con este marco de referencia se describen dos proyectos desarrollados que atienden demandas actuales del mercado: desarrollo de productos a base de chile habanero que satisfagan parámetros de calidad e inocuidad requeridos para su potencial comercialización.

2.3. INVESTIGACIONES REALIZADAS

2.3.1. Desarrollo de un proceso fermentativo para la industrialización del chile habanero

La fermentación de los alimentos por cultivos iniciadores (bacterias ácido lácticas) es una de las formas más antiguas de conservación

usadas por el hombre. Incluidos en estos alimentos están el yogurt, quesos, vegetales fermentados, productos de panadería y salsas. Lo más significativo en estas fermentaciones es la conservación de alimentos perecederos resultante de la producción de ácido láctico y otros metabolitos tales como ácidos orgánicos, diacetilo y bacteriocinas (Farias *et al.*, 1994).

Un cultivo iniciador puede ser definido como microorganismos que se adicionan a un alimento, produciendo cambios en el sabor, aroma, textura o color; además, algunos son productores de bacteriocinas, las cuales ayudan a la conservación de los alimentos. Las bacterias ácido lácticas tienen un papel central en este proceso y han sido empleadas en la elaboración de alimentos y bebidas fermentadas; estas bacterias ocasionan una rápida acidificación del material crudo, mediante la producción de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico. También producen ácido acético, etanol, compuestos aromáticos, exopolisacáridos y varias enzimas de importancia como bacteriocinas, lo que contribuye a aumentar el tiempo de conservación de los alimentos, mejora su textura y contribuye a las características sensoriales del producto final (Cleveland, *et al.*, 2001). Las propiedades específicas deseadas de las bacterias lácticas dependen del producto a elaborar, pero puede resumirse en dos: producción rápida del ácido y una correcta producción de sabor y aroma (Hassan y Franck, 2001). El desarrollo de productos innovadores, tales como los fermentados, que le confieran valor agregado al chile habanero, es clave en la diversificación del mercado. Uno de los rubros más interesantes en el mercado del chile habanero es el de las salsas, debido principalmente a la elevada aceptación del producto, relacionado con el picor y sabor característicos.

Por definición de la Norma Mexicana NMXF-377-1986, la salsa picante envasada es el producto resultante de la mezcla y/o molienda y suspensión de una o más variedades de chiles frescos, secos o conservados, sanos, limpios, adicionados o no de acidulantes, espesantes, especias e ingredientes permitidos por la Secretaría de Salud, que le proporcionen el sabor característico. En este producto la función de la sal es intensificar el sabor, reducir la acidez y favorecer

la conservación; asimismo, se pueden utilizar gomas o féculas de maíz como espesantes para incrementar la viscosidad (15-35 °Brix) y colorantes para uniformar el color.

Sin embargo, el mercado nacional y el hispano de Estados Unidos de América, en donde las salsas picantes han rebasado incluso el consumo de salsa catsup, está demandando productos picantes naturales, libres de conservadores, por lo que en el presente trabajo se planteó el desarrollo de un proceso fermentativo para generar nuevos productos a partir del chile habanero, como sería el caso de una salsa fermentada. Este proyecto fue financiado por Fundación Produce Yucatán en 2006, en apoyo a la diversificación del mercado y fortalecimiento de la cadena productiva de chile habanero. Las etapas propuestas fueron: 1) Aislar, identificar y caracterizar la flora microbiana, empleando tanto métodos de cultivo como métodos moleculares, 2) Determinar las condiciones de fermentación de la pasta de chile habanero, empleando cultivos iniciadores para la elaboración de las salsas, y 3) Establecer la formulación de una salsa fermentada y evaluar sus propiedades nutritivas y sensoriales.

Entre los resultados relevantes destaca el aislamiento de 49 bacterias a partir de pasta de chile habanero, en cuatro aislamientos a diferentes condiciones de temperatura y concentración de sal (Tabla 2). De éstas, 27 fueron bacterias ácido lácticas, todas pertenecientes a la familia Lactobacillaceae, correspondiendo 51% de ellas a *Pediococcus acidilactici* y 49% a *Lactobacillus plantarum*.

De las bacterias ácido lácticas aisladas se eligieron cinco cepas silvestres para caracterizarlas en cuanto a su capacidad fermentativa, en medio MRS junto con dos cepas de colección, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3. Como se puede observar, existió diferencia significativa en los parámetros de acidez producida, el rendimiento de producto con base en sustrato (Y_p/s), y la eficiencia de fermentación debido a las diferentes cepas empleadas. La cepa que produjo una mayor acidez después de 6 h de fermentación fue la CHN001 con 20.9 g/l, siguiéndole las cepas MCH12 y ATCC314 después de 9 horas de fermentación.

Tabla 2. Bacterias aisladas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

Aislamiento	Pasta de chile habanero (color)	Temperatura (°C)	NaCl (%)	Bacterias aisladas	Bacterias identificadas	Género y especie
1	Verde*	30	8.5	16	13	<i>Bacillus cereus</i> (2) <i>Staphylococcus epidermidis</i> (8) <i>Bacillus licheniformis</i> (1) <i>Staphylococcus haemolyticus</i> (1) <i>Staphylococcus pasteurii</i> (1)
		40				
2	Naranja*	30	15.5	9	6	<i>Lactobacillus plantarum</i> (5) <i>Acetobacter lovaniensis</i> (1)
		40				
3	Naranja	30	7	10	8	<i>Lactobacillus plantarum</i> (6) <i>Pediococcus acidilactici</i> (2)
		40				
4	Naranja	30	7	10	8	<i>Lactobacillus plantarum</i> (6) <i>Pediococcus acidilactici</i> (2)

* Pasta de chile formulada conteniendo ácido acético y benzoato de sodio como conservadores

El mejor rendimiento y eficiencia de fermentación lo obtuvo la cepa CHN001, sin embargo, no presentó diferencia significativa respecto de CHRS0411 y ATCC314; siguiéndole en importancia la MCH12. El pH final de la fermentación fue similar entre las cepas. Con base en estos resultados las mejores cepas fueron: CHN001 y MCH12, ambas corresponden a *Lactobacillus plantarum* (aisladas a diferentes condiciones), por lo tanto fueron seleccionadas como cultivos iniciadores para la fermentación de las pastas de chile habanero.

Con el fin de determinar las condiciones de fermentación empleando la cepa MCH12 (*L. plantarum*) se utilizó un diseño factorial 2³ en donde los factores a probar a dos niveles cada uno fueron: temperatura, concentración de sal y proporción pasta de chile/líquido diluyente. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de estos experimentos, y en donde se puede observar que la más alta acidez (10.21 g/l) se produjo en los experimentos 4 y 5, no obstante, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los ocho experimentos realizados. Las únicas respuestas que demostraron diferencia estadística significativa fueron el rendimiento del producto (ácido láctico) con base en el consumo de sustrato (azúcares reductores) denominado Yp/s y la eficiencia de fermentación, presentándose los valores más altos en el experimento 7.

Cabe señalar que en la fermentación de la pasta de chile habanero, sin el empleo de un cultivo iniciador, la máxima acidez producida fue de 4.13 g/l después de 22 días de fermentación, durante los cuales la población celular presente en la pasta apenas se duplicó alcanzando 43 millones de células/ml, lo cual demuestra la clara ventaja tanto en producción de acidez como en tiempo al emplear un cultivo iniciador.

Las fermentaciones realizadas con las mejores condiciones determinadas para la cepa MCH12 y empleando jugos de frutas o miel, dieron como resultado (Tabla 5) que la producción de acidez aumentara por el aporte adicional de azúcares proporcionado a las pastas de chile habanero, siendo 24.13 g/l el valor más alto obtenido, y fue cuando se empleó jugo de mango. Asimismo, con esta formulación

Tabla 3. Parámetros cinéticos de fermentación de las cepas silvestres y de colección

Parámetro (unidades)	CHN001	CHRS011	CHRS014	MCH12	MCH13	ATCC11454	ATCC314
Acidez (g/l)	20.94 ^a	16.34 ^b	13.92 ^c	16.94 ^b	11.59 ^c	13.58 ^c	17.26 ^b
Yp/s (g/g)	0.994 ^d	0.947 ^{c d}	0.753 ^a	0.853 ^b	0.688 ^a	0.909 ^{b c}	0.985 ^d
Eficiencia (%)	99.4 ^d	94.7 ^{c d}	75.3 ^a	85.3 ^b	68.8 ^a	90.9 ^{b c}	98.5 ^d
pH final	3.78	3.79	4.13	3.63	4.53	3.81	3.81

Letras distintas en la misma fila (superíndices a, b, c) denotan diferencias estadísticamente significativas.

CHN001: *L. plantarum*; CHRS011: *P. acidilactici*; ATCC11454: *Lactococcus lactis*; ATCC314: *Lactobacillus acidophilus*; MCH12: *L. plantarum*
 CHRS014: *P. acidilactici*; MCH13: *P. acidilactici*

Tabla 4. Resultados del diseño experimental para la cepa *L. plantarum* MCH12

Experimento No.	Acidez (g/l)	pH final	Yp/s (g/g)	Eficiencia (%)	Población Millones/ml	Vel de crecimiento μ (h ⁻¹)	Td (h)
1	10.21	3.63	0.9351 ^a	93.50 ^a	135	0.322	2.15
2	9.75	3.67	0.936 ^a	93.60 ^a	131	0.318	2.19
3	9.29	3.53	0.937 ^a	93.70 ^a	129	0.298	2.46
4	10.21	3.58	0.970 ^{bc}	97.0 ^{bc}	128	0.324	2.14
5	9.75	3.69	0.977 ^c	97.70 ^c	135	0.339	2.04
6	9.75	3.78	0.942 ^{ab}	94.20 ^{ab}	132	0.299	2.32
7	9.75	4.01	0.984 ^c	98.40 ^c	133	0.277	2.51
8	9.29	3.88	0.953 ^{abc}	95.30 ^{abc}	128	0.332	2.09

Letras distintas en la misma columna (superíndices a, b, c) denotan diferencias estadísticamente significativas

Tabla 5. Fermentación de formulaciones empleando *Lactobacillus plantarum* como cultivo iniciador

Exp. No.	Acidez (g/l)	pH final	Peso Seco (g/l)	Población Millones/ml	Vel de crecimiento. μ (h ⁻¹)	Tiempo de duplicación (h)	Yp/s (g/g)	Eficiencia (%)
9 (Naranja)	19.04 ^a	3.96 ^a	1.24 ^a	140	0.3095	2.2	0.876 ^a	87.6 ^a
10 (Mango)	24.13 ^b	3.55 ^b	1.28 ^b	144	0.2440	2.8	0.987 ^b	98.7 ^b
11 (Papaya)	14.39 ^c	3.92 ^a	1.20 ^c	135	0.2745	2.5	0.819 ^a	81.9 ^a
12 (Miel)	14.39 ^c	3.97 ^a	1.17 ^d	131	0.3075	2.3	0.741 ^c	74.1 ^c

Letras distintas en la misma columna (superíndices a, b, c) denotan diferencias estadísticamente significativas

se obtuvieron los valores más altos para el peso seco de las células bacterianas, lo que significa un mayor crecimiento confirmado por la población determinada de 144 millones de células/ml. De igual manera, la fórmula con jugo de mango es la que obtuvo el más alto rendimiento (Yp/s) y por lo tanto la más alta eficiencia de fermentación con 98.7%.

Los análisis bromatológicos realizados a cuatro salsas obtenidas (Tabla 6) muestran que en cuanto al contenido de carbohidratos, la salsa D presentó el contenido más bajo, lo que concuerda con el hecho de que fue la salsa con mayor acidez producida (24.13%), por lo que se le relaciona con el mayor consumo de los mismos.

Los contenidos mayores de proteína se observan en las salsas A y B elaboradas con jugo de naranja dulce, mientras que para las salsas con jugo de mango el contenido fue de la mitad aproximadamente. Asimismo, el contenido energético fue menor en las salsas de mango que en las de naranja, mientras que el contenido de sólidos disueltos fue mayor en las que contenían mango.

Tabla 6. Determinación del análisis bromatológico de las salsas obtenidas

Determinación (% en peso)	Salsa A	Salsa B	Salsa C	Salsa D
Humedad	84.76	84.53	88.09	89.40
Carbohidratos	1.76	2.69	2.72	<0.10
Proteína	3.30	3.46	1.24	1.74
Grasa	3.93	6.01	3.03	5.15
Ceniza	5.18	2.32	3.92	2.97
Fibra cruda	1.07	0.99	0.97	0.90
Sólidos disueltos	2.91	2.92	3.77	2.97
Contenido energético*	55.61	78.69	43.38	53.31

* Kcal/100g de muestra

Los resultados del nivel de preferencia de las fermentaciones realizadas con las mejores condiciones determinadas para la cepa *L. plantarum*, MCH12 y empleando jugos de frutas y miel, se muestran en la Figura 5. Como se puede apreciar en el gráfico, la que mejor aceptación tuvo en la evaluación sensorial fue la formulación de la salsa del experimento 10, la cual contenía jugo de mango y a la que el panel de jueces describió como de olor muy agradable a chile habanero, con notas de fruta de mango picante y sabor ligeramente ácido muy agradable. La formulación en la que se empleó papaya fue la que siguió en la preferencia, y por último y en condiciones similares quedaron las otras dos formulaciones.

Concluyendo, la cepa silvestre empleada *L. plantarum*, MCH12 presentó su mejor capacidad fermentativa a 40 °C en concordancia con la temperatura a la que fue aislada. Las fermentaciones donde se empleó solamente agua como diluyente produjeron menos de la mitad de acidez que cuando se emplearon jugos de frutas de mango

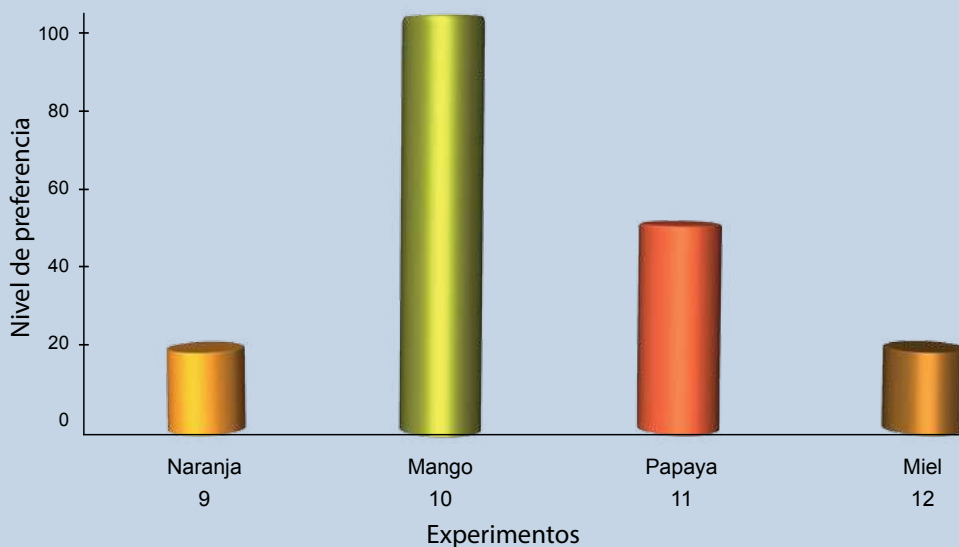


Figura 5. Nivel de preferencia de las salsas fermentadas según la evaluación sensorial

y naranja. Por otro lado, la fermentación natural de pasta de chile habanero sin adición de cultivo iniciador realizada a las mismas condiciones de temperatura, produjo menor acidez en un tiempo más largo que cuando se usó el cultivo iniciador, y puso de manifiesto la clara ventaja que tiene el usarlos. De las formulaciones de chile habanero y diversas frutas empleando esta cepa como cultivo iniciador, la de mango fue mejor tanto en la producción de acidez y demás parámetros fermentativos como en la aceptabilidad en las pruebas sensoriales.

2.3.2. Producción de pastas de chile habanero que cumplan con las especificaciones de calidad internacionales

En Yucatán existen condiciones climáticas y geográficas que favorecen el cultivo y la comercialización del chile habanero y sus productos. Sin embargo, es precisamente esta ubicación geográfica que lo expone también a condiciones climáticas adversas como huracanes, tormentas tropicales, entre otros. Este factor, aunado a que el periodo de cultivo para obtener el fruto sazón es de aproximadamente seis meses, obliga a los industriales a procesar elevados volúmenes de fruto en fresco con el fin de obtener pastas que se almacenan hasta por un año. Este producto es almacenado a temperatura ambiente, la cual en la región es de 35 a 38 °C en promedio anual, por lo que es necesario contar con métodos de conservación efectivos y baratos que permitan el almacenamiento del producto por periodos largos previos a su comercialización tanto en el ámbito nacional como internacional.

Una alternativa es el uso de conservadores, sin embargo, los mercados de Asia y Oceanía están interesados en que las pastas cumplan con parámetros de calidad específicos en cuanto al uso de aditivos, particularmente están interesados en productos que no contengan sulfitos. Este interés obedece a que aunque estos compuestos son ampliamente utilizados como antioxidantes y conservadores, y son permitidos por la Legislación Sanitaria Mexicana (Secretaría de Salud, 2006) y el CODEX Alimentario (CODEX STAN 192-1995), pueden ocasionar alergias en personas sensibles (Tarlo *et al.*, 1993), por lo que

la FDA ha limitado su empleo y actualmente algunos países como Japón y Australia no permiten su uso, por ello es necesario sustituirlo por aditivos permitidos con el fin de conservar la calidad del producto y cumplir con los requerimientos internacionales.

Por lo tanto, se realizó esta investigación con el fin de producir pastas de chile habanero que cumplieran con las especificaciones de calidad internacionales, la cual fue financiada por el Fondo Mixto del Estado de Yucatán (50%) y por una empresa privada productora y comercializadora de chile habanero (50%) en la que se evaluaron distintos conservadores alternos a los sulfitos, para lo cual se probaron dos acidulantes (que se nombrarán como A y B debido a la confidencialidad con la empresa) y un antioxidante (denominado C). Estos aditivos fueron agregados de forma individual o combinados a la pasta de chile habanero de color naranja (Figura 6), dando lugar a seis formulaciones distintas (A, B, A+C, A+B, C+B y A+B+C) y un control (producto comercial de la empresa, con una cantidad reducida de conservador). Una vez suplementadas las pastas se determinaron las características fisicoquímicas: color, humedad, acidez, pH; microbiológicas: mesófilos aerobios, hongos y levaduras y coliformes totales durante 57 días de almacenamiento a 10 y 45 °C, evaluándose también la vida útil del producto y el análisis sensorial.

Entre los resultados más importantes destaca que la adición del aditivo A produjo pastas con un color amarillo-naranja estable, donde el oscurecimiento durante el almacenamiento fue mínimo. Es importante destacar que este resultado es relevante, ya que uno de los parámetros de calidad comercial está relacionado con el color del producto.

Entre las características fisicoquímicas, la humedad de las formulaciones A y C fue de 81%, mientras que en las cuatro restantes A+C, A+B, C+B y A+B+C fue de 78%, este resultado podría estar relacionado con el tipo y cantidad de conservador debido a que la cantidad mayor de sólidos presente en estas cuatro formulaciones pudo haber provocado un incremento en la cantidad de agua ligada, disminuyendo el agua superficial disponible, que es la que se elimina durante el secado de las muestras. Durante el almacenamiento a 45 °C todas



Figura 6. Aspecto de pasta de chile habanero durante las pruebas de conservación con aditivos

las formulaciones perdieron entre 1 a 2.5% de humedad respecto de las que se encontraban a 10 °C.

Aunque la temperatura de almacenamiento no afectó la acidez de las pastas, el tiempo durante el que se almacenó sí produjo cambios significativos ($P < 0.05$). La acidez inicial en todas las formulaciones fue de 3%, misma que al adicionar los acidulantes ya sea solos (A, C) o combinados (A+B o A+C) disminuyó, y para las formulaciones A y B presentó una reducción con respecto de la inicial de 53.09 y 49.07%, respectivamente, a los 57 días de almacenamiento, y para las formulaciones que contenían la combinación A+B o A+C la reducción fue del orden de 48 y 41%, respectivamente, a los 29 días de almacenado.

Este efecto en la acidez probablemente esté relacionada con el hecho de que a pH's ácidos de aproximadamente 3, que fue el pH de las pastas formuladas (Tabla 7), hay un alto porcentaje de ácido del

orden de 53%, sin disociar que estaría actuando como un bactericida, protegiendo las pastas microbiológicamente (McCarthy, 1991; Dziezak, 1986).

En este sentido, se pudo observar que el pH de las pastas en todas las formulaciones se mantuvo estable en el inicio del almacenamiento a 10 y 45 °C. Sin embargo, después del día 57 se presentaron disminuciones del mismo, particularmente en las formulaciones que fueron adicionadas con acidulantes (Tabla 7). Para el caso de la formulación A, el cambio fue de aproximadamente 3 al inicio del almacenamiento hasta 2.2 -2.3 unidades al final del mismo, lo que significa una reducción de 26%. Un decremento similar del pH lo presentaron las pastas con C, mientras que la formulación control tuvo 21% de disminución.

Tabla 7. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en el pH de las pastas de chile habanero formuladas con diferentes acidulantes

Formulación	Temperatura (°C)					
	10			45		
	0	29	57	0	29	57
A	3.13 ^b	2.92 ^c	2.24 ^d	3.16 ^a	2.88 ^a	2.29 ^b
C	3.24 ^a	3.13 ^{a,b}	2.37 ^c	3.25 ^a	3.13 ^a	2.33 ^b
A+B	3.24 ^a	3.01 ^a	2.51 ^b	3.23 ^a	3.08 ^{b,c}	2.30 ^d
A+C	3.30 ^a	3.05 ^b	2.29 ^c	3.31 ^a	2.84 ^b	2.35 ^c
C+B	3.24 ^a	2.86 ^{b,c}	2.26 ^d	3.22 ^a	2.9 ^a	2.33 ^b
A+B+C	3.16 ^a	2.78 ^b	2.35 ^c	3.22 ^a	2.86 ^a	2.29 ^b
Control	3.37 ^a	2.84 ^b	2.65 ^d	3.40 ^a	3.07 ^b	2.50 ^c

Letras distintas (superíndices a, b, c) en la misma fila denotan diferencias estadísticamente significativas

Las elevadas cargas microbianas que contenía la materia prima fueron reducidas por la adición de los acidulantes y antioxidantes. Inicialmente, la materia prima contenía mesófilos aerobios, coliformes totales y hongos y levaduras del orden de 185000, 5800 y 115 UFC/g, respectivamente. Desde el inicio del almacenamiento, los contenidos

de mesófilos aerobios en las seis formulaciones disminuyeron, presentando de 100 a 400 UFC/g tanto a 10 °C como a 45 °C; los coliformes fueron inhibidos totalmente y sólo en la formulación control se detectaron cargas de hongos de 400 UFC/g en las pastas refrigeradas, pero no en las almacenadas a 45 °C. Sin embargo, las cargas microbianas de mesófilos aerobios, coliformes totales y hongos y levaduras de todas las formulaciones fueron inhibidas completamente a los 57 días de almacenamiento, tanto a 10 como 45 °C.

Desde el punto de vista sensorial (Figura 7), en cuanto a su apariencia, la adición de A solo o en combinación con B o C fue percibida similar con respecto de una pasta fresca de chile habanero naranja, conservando su sabor y picor e intensificando su olor. Mientras que la pasta control proporcionada por la empresa fue percibida con más picor y olor a chile, desarrollando un sabor más ácido.



Figura 7. Evaluación sensorial de las pastas de chile habanero

En la Tabla 8 se muestran los resultados de vida de anaquel de las seis formulaciones preparadas y dos controles 1 y 2, los cuales eran productos comerciales de la empresa, con una cantidad reducida y elevada de conservador, respectivamente. Como se detalla, la pasta de chile habanero con una cantidad elevada de conservador presentó una mayor vida de anaquel, pudiéndose conservar 212 y 133 días a 35 y 45 °C, respectivamente; dichas temperaturas pueden alcanzarse en verano en la región de la península de Yucatán. La disminución de conservador (Control 1) aseguró una estabilidad de la pasta de 87 y 57 días a 35 y 45 °C, respectivamente.

Tabla 8. Vida de anaquel de las pastas de chile habanero de las formulaciones desarrolladas

Formulación	Temperatura (°C)				
	10	20	35	40	45
	Vida de anaquel (días)				
A	187	117	80	67	57
C	320	136	73	55	42
A+B	82	70	62	58	50
A+C	81	74	64	60	51
C+B	72	52	43	40	37
A+B+C	85	55	43	39	35
Control 1	237	127	87	72	57
Control 2	269	247	212	197	133

De las formulaciones que contenían conservadores diferentes a los sulfitos, la formulación A presentó una vida de anaquel similar a la del Control 1, con 80 y 57 días a 35 y 45 °C respectivamente, seguida de la formulación C que fluctuó de 73 días a 35 °C a 42 días a 45 °C. Las formulaciones que tenían dos aditivos, donde uno de ellos era A, como es el caso de A+B y A+C, presentaron vidas de anaquel del orden de 64 a 50 días a 35 y 45 °C respectivamente, y fueron mayores

a las que presentaron las combinaciones C+B y A+B+C; por lo que la vida de anaquel disminuyó conforme aumentaba la temperatura de almacenamiento y varió dependiendo de la formulación de pasta de chile habanero.

Por tanto, se puede concluir que la opción más viable del uso de aditivos alternos a los sulfitos la presentó la formulación A, la cual aseguró una vida de anaquel de 80 y 57 días a temperaturas de 35 y 45 °C (las cuales son las más usuales en primavera-verano en la península de Yucatán). Esta formulación conservó las características de calidad fisicoquímica en cuanto a color, humedad, acidez y pH similares al control. Asimismo, presenta una buena calidad microbiológica, siendo sensorialmente percibida por los jueces con un picor elevado y olor característico. Esta formulación representa una opción tecnológicamente viable en la sustitución de sulfitos en las pasta de chile habanero, con potencial de exportación a mercados internacionales.

2.4. CONCLUSIONES

Debido a sus características distintivas, el chile habanero ha obtenido la denominación de origen "Chile Habanero de la Península de Yucatán", lo que le da una ventaja competitiva tanto en el ámbito nacional como internacional. Para aprovechar esta ventaja, el desarrollo de productos innovadores con elevado valor agregado, como lo son las salsas fermentadas y pastas de chile habanero estabilizadas con aditivos naturales, potencialmente transferibles al sector industrial, son claves en la diversificación del mercado y comercialización del producto. Adicionalmente, un factor fundamental en el fortalecimiento de la cadena productiva del chile habanero, será la implementación de un sistema alimentario que incluya esquemas metodológicos y operativos que garanticen la inocuidad y trazabilidad del producto fresco y procesado con el fin de fomentar el desarrollo económico y social de los estados del sureste de México, en especial de la península de Yucatán. En este sentido, se tienen ya proyectos en desarrollo.

2.5. PROSPECTIVA

Actualmente se están desarrollando dos proyectos estrechamente vinculados con la calidad e inocuidad del chile habanero de la península de Yucatán con el fin de acceder a mercados nacionales e internacionales, y a continuación se detallan:

2.5.1. Evaluación de aditivos naturales y tratamientos térmicos sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial de la pasta de chile habanero

Uno de los productos procesados de chile habanero con potencial de comercialización debido a una elevada demanda en los mercados internacionales, particularmente de Europa y Asia, es el puré o pasta de chile habanero. Se estima que la demanda en el mercado asiático es de 510 ton anuales, pronosticándose en el futuro incrementos de un 60% (Plan Rector del Sistema-Producto Chile, 2011). Esta demanda obedece a que es la materia prima con la que se prepara un sinnúmero de productos para consumo humano, como papas, sopas, aderezos y cremas, entre otros. Sin embargo, la venta al extranjero está limitada por estándares elevados de calidad microbiológica. Actualmente, el proceso de conservación de la pasta utilizado a nivel industrial es mediante la adición de conservadores químicos, los cuales son incorporados al producto durante el mezclado, sin someterla a ningún tratamiento térmico. Pero la tendencia mundial cada vez más marcada es hacia el consumo de alimentos orgánicos y naturales, sin aditivos químicos, y se ha incrementado debido a que los conservadores químicos pueden provocar asma y alergias en personas sensibles (Freedman, 1997).

Numerosos estudios han señalado que el uso de ácidos orgánicos (Eswaranandanm *et al.*, 2004) y extractos naturales de plantas (Soung-Youn *et al.*, 2010) han sido efectivos contra bacterias patógenas como *Salmonella typhimurium*, *E. coli* 0157:H7 y *Listeria monocytogenes* en vegetales frescos. Asimismo, en nuestro laboratorio se

ha encontrado que extractos de residuos cítricos fueron eficientes, inhibiendo coliformes totales y mesófilos en lechuga (Sánchez-Contreras *et al.*, 2009). Adicionalmente, la FDA sugiere que para alimentos de baja acidez, como lo es la pasta de chile habanero, es necesario someter el producto a tratamientos térmicos con el fin de asegurar la ausencia de bacterias patógenas.

Por tanto, la posibilidad de acceder a los mercados internacionales es buscar alternativas de conservación utilizando aditivos naturales como extractos de plantas, de residuos cítricos y acidulantes, y/o tratamientos térmicos que aseguren la calidad microbiológica sin afectar las características fisicoquímicas y sensoriales del producto.

Con base en lo anterior, y con apoyo del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, el proyecto YUC-2011-C09-172091 iniciado en 2012 tiene como objetivo evaluar el efecto de aditivos naturales y tratamientos térmicos sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica, sensorial y contenido de capsaicina de la pasta de chile habanero.

Entre los productos esperados están: reportes técnicos de las formulación(es) de pastas de chile habanero indicando tipo y concentración de conservador(es) natural(es) adecuado(s) para cumplir con las especificaciones internacionales, que incluya el resultado de tratamientos térmicos; vida de anaquel de los productos obtenidos, solicitud de patente, publicaciones de divulgación y científicas, y formación de recursos humanos.

Los resultados beneficiarán directamente a productores de chile habanero y empresas del ramo alimenticio de la región, y potencialmente tendrían un aporte al conocimiento al identificar extractos naturales con cualidades antimicrobianas derivados de plantas y/o tratamientos térmicos con uso potencial en las pastas de chile habanero que garanticen la inocuidad microbiológica del producto. Adicionalmente, se conocería el efecto que tienen estos tratamientos sobre la cantidad de capsaicina, color, calidad sensorial y vida de anaquel de este producto. Finalmente, el desarrollo de esta

tecnología daría la posibilidad de comercialización tanto en mercados nacionales como internacionales al ofrecer un producto de alta calidad e inocuidad microbiológica.

2.5.2. Fortalecimiento de la cadena de valor del chile habanero de la península de Yucatán mediante el establecimiento de su sistema alimentario

Eje 2 Inocuidad y trazabilidad

El cultivo e industrialización del chile habanero es una actividad económica que genera empleo y riqueza en el sureste del país y es un ícono cultural para la península de Yucatán. Su consumo en fresco y como materia prima para la industria cosmética, farmacéutica, militar y alimentaria se encuentra en un punto donde convergen varios factores de oportunidad, que pueden favorecer la integración de la cadena de valor en torno de este cultivo, con miras a atender la demanda nacional e internacional. Entre los factores de oportunidad se encuentran:

- a) El producto fresco y sus derivados ha alcanzado una excelente aceptación nacional e internacional.
- b) Los programas de mejoramiento genético han conducido al registro de variedades sobresalientes en el Catálogo Nacional de Variedades del SNICS-Sagarpa.
- c) El IMPI otorgó en 2010 la Denominación de Origen del Chile Habanero de la Península de Yucatán a Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Este reconocimiento abre oportunidades que beneficiarán tanto al campo como a la industria, al contar con un producto de competencia mundial que atraerá nuevas inversiones e incrementará la oferta de trabajo. Asimismo, estos estados han trabajado en forma coordinada en la creación de la Norma Oficial Mexicana (NOM), actualmente en revisión, el Manifiesto de Impacto Regulatorio y un Consejo Regulatorio.
- d) Existen capacidades científico-tecnológicas con posibilidades de transferencia a los sectores productivos.

No obstante, la producción de chile ofrece en la península de Yucatán los siguientes retos: No existen programas de mejoramiento para generar variedades que se apeguen a los criterios de la NOM, se carece de infraestructura adecuada para producir semilla y plántula con calidad sanitaria, se desconoce el tamaño del mercado y la capacidad potencial para satisfacerlo. Asimismo, no se cuenta con normatividad que regule la calidad e inocuidad en las etapas de la cadena productiva y se requiere contar con una Unidad de Verificación y Laboratorios de prueba certificados.

Con el fin de atender estos retos que impactan negativamente en los eslabones de la Cadena Productiva de Chile Habanero reduciendo sus posibilidades de crecimiento, se planteó el proyecto con carácter regional "Fortalecimiento de la cadena de valor del chile habanero de la península de Yucatán mediante el establecimiento de su sistema alimentario", aprobado en la Convocatoria FORDECYT 2011, donde se integran las capacidades científicas y tecnológicas de los tres estados que conforman la península de Yucatán para establecer el sistema alimentario del chile habanero. La propuesta está integrada en tres ejes: mercados estratégicos, inocuidad y trazabilidad y aseguramiento de la autenticidad del germoplasma, fungiendo como instituciones coordinadoras el CONCYTEY, CIATEJ y CICY, respectivamente; participando en cada eje como colaboradores, instituciones de educación superior como la Universidad Autónoma de Yucatán, el Instituto Tecnológico de Calkiní en Campeche y las Unidades del INIFAP de los tres estados de la península, entre otras, así como empresas procesadoras y comercializadoras de la región.

Cabe destacar que en cuanto a los aspectos de inocuidad y trazabilidad, es indispensable la creación de esquemas organizativos que consideren el diseño, la implementación y la acreditación de las Unidades de Verificación, así como de los laboratorios de pruebas acreditados ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). La implementación de las unidades de verificación y laboratorios certificados son fundamentales para la verificación del cumplimiento de la conformidad del proyecto de norma oficial mexicana (PROY-

NOM-000-SCFI-2010) chile habanero de la península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.), y la salvaguarda de la denominación de origen del chile habanero; así como de otras normas de higiene del chile que garanticen la calidad en toda la cadena productiva. Asimismo, es indispensable diseñar manuales de operación de buenas prácticas de manufactura y agrícolas, además de contar con un sistema de trazabilidad, con el fin de garantizar la inocuidad del chile habanero desde el campo a la mesa.

Con base en lo anterior, los objetivos específicos del Eje 2 Inocuidad y Trazabilidad son:

1. Recopilar y analizar las normas internacionales de inocuidad y sistemas de trazabilidad relacionadas con el chile habanero para evaluar la posibilidad de implementarlas con los productores e industriales de la región.
2. Crear esquemas normativos y organizativos con cobertura regional que permitan aprovechar las ventajas competitivas de la Denominación de Origen “Chile Habanero de la Península de Yucatán”.

Entre los productos esperados se encuentran: un manual de buenas prácticas agrícolas, un manual de buenas prácticas de manufactura, seis cursos de capacitación para productores e industriales de los tres estados de la península de Yucatán, documentos que contenga la creación y operación de una unidad de verificación, y la creación y operación de un sistema de trazabilidad por el Organismo Verificador, además de la construcción de un laboratorio regional de análisis de chile habanero e inicio de su acreditación.

Las instancias beneficiarias abarcan, por el estado de Campeche: Secretaría de Desarrollo Rural, Consejo Estatal de Productores de Chiles y la Unión de Productores de Chile Habanero; por el estado de Quintana Roo: Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural e Indígena, y la empresa Hidroponía Maya; y por el estado de Yucatán: Secretaría de Educación Pública, Secretaría de Fomento Económico, Consejo de Productores de Chile, Comité del Sistema Estatal del Sistema Producto Chile Habanero y viveristas particulares.

Es importante resaltar que la implementación de un Sistema Alimentario Integral, que incluya esquemas organizativos, así como normativos relacionados con la inocuidad, fortalecería la cadena de valor del chile habanero, lo que le daría una ventaja competitiva importante, pues además de impactar en el mercado nacional, garantizaría su acceso a los mercados internacionales. El beneficio económico incluiría a la región agrícola productora, industriales, comercializadores, etc. Actualmente, el volumen de producción en la región es de 6,000 ton/año, sin embargo, con la denominación de origen se estiman incrementos de 10 a 20% anuales. Estos incrementos traerían beneficios directos a poco más de 2,000 productores, principalmente pequeños y medianos. Asimismo, se verían beneficiadas aproximadamente 20 empresas, entre productoras y comercializadoras que expenden el producto al mercado nacional y que exportan aún volúmenes pequeños de chile habanero fresco y procesado.

2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canto-Flick A, Balam-Uc E, Bello-Bello J, Lecona-Guzmán C, Solís-Marroquín D, Avilés-Viñas S, Gómez-Uc E, López-Puc G, Santana-Buzzy N (2008). "Capsaicinoids content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) hottest know cultivars". *HortScience*. 43:1344-1349.
- Chile Habanero de la Península de Yucatán (2010). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México.
- Cleveland J, Monville T, Nes I, Chikindas M (2001). "Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation". Review. *Int J Food Microbiol*. 71:1-20.
- Codex Stan 192-1995. Norma General del CODEX para los Aditivos Alimentarios. Rev 7-2006.
- Dasgupta P, Fowler C (1997). "Chillies: from antiquity to urology". *Brit J Urol*. 80:845-852.
- Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen del Chile Habanero de la Península de Yucatán. *Diario Oficial de la Federación*. 4 de junio de 2010.
- Dziezak D (1986). "Antimicrobial agents. A means toward product stability". *Food Technol*. September. 104-111.
- Eswaranandam S, Hettiarachchy N, Jonson M (2004). Antimicrobial activity of citric, lactic, malic or tartaric acids and nisin-incorporated soy protein film against *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella gaminara*. *J. Food Sci*. 69: 79-84.

- Farias M, de Ruiz Holgado A, Sesma F (1994). "Bacteriocin production by lactic acid bacteria isolated from regional cheeses: inhibition of foodborne pathogens". *J Food Prot.* 57:1013-1015.
- Freedman B (1997). "Asthma induced by sulphur dioxide, benzoate and tartrazine contained in orange drinks". *Clin Allergy.* 7:407-15.
- Hassan A, Franck J (2001). "Starter cultures and their use". In: *Applied Dairy Microbiology.* Marth E, Steele L (eds.) Second edition. Marcel-Dekker. NY.
- Islas-Flores I, González-Estrada T, Villanueva M (2005). "The capsaicin: Just as hot as hell?" *Recent Res Devel Biochem.* 6:121-132.
- Manual del Chile Habanero (2011). Pymexporta, Secretaría de Fomento Económico. Gobierno del Estado de Yucatán.
- McCarthy M, Heil J, Kruegermann C, Desvignes D (1991). "Acid requeriment for pH modifications of processed foods". *J. Food Sci.* 56:973-976.
- NMXF-377-1986. Norma Mexicana. Alimentos regionales. Salsa picante envasada.
- Pino J, González M, Ceballos L, Centurión-Yah A, Trujillo-Aguirre J, Latournerie-Moreno L, Sauri-Duch E (2007). "Characterization of total capsaicinoids, colour and volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan". *Food Chem.* 104:1682-1686.
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana. Proy-Nom-000-SCFI-2010. Chile habanero de la península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.) Especificaciones y métodos de prueba (En revisión).
- Sánchez-Contreras M, Rodríguez-Buenfil I, González-Flores T, Hernández-Gutiérrez R, Álvarez A, Padilla-Camberos E, Acosta-Viana K, Morales-Landa J (2009). Proyecto Fomix 65719-2006. Obtención de extractos flavonólicos y polifenólicos de los residuos industriales de cítricos de Yucatán para la elaboración de un producto con cualidades desinfectantes y antiparasitarias.
- Secretaría de Salud. Acuerdo por la que se determinan las sustancias permitidas como aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios. *Diario Oficial de la Federación.* 17 de julio 2006.
- Soung-Youn K, Dong-Hyun K, Jin-Ki K, Uong-Geun H, Young Hwang J, Taewan K, Seon-Ho L (2011). "Antimicrobial activity of llant extracts against *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* on Fresh Lettuce". *J. Food Sci.* 76:41-46.
- Tarlo S, Sussman G (1993). "Asthma and anaphylactoid reactions to food additives". *Can Fam Phisycian.* 39:1119-1123.
- Tun-Dzul J (2001). *Chile habanero. Características y tecnología de producción.* Editorial del Centro de Investigación Regional del Sureste. México.

POTENCIAL DE LAS FRUTAS TROPICALES Y SUS SUBPRODUCTOS PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE ALTO VALOR AGREGADO

González-Flores T, Morales-Landa JL,
Reyes-Vázquez NC, Sánchez-Contreras MA y
Rodríguez-Buenfil I

tgonzalez@ciatej.net.mx

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y
Diseño del Estado de Jalisco, Unidad Sureste,
calle 30 Núm. 151, interior Canacintra por 7 y 7 A,
Col. García Ginerés, Mérida, Yucatán, CP 97070*

3.1. RESUMEN

Las frutas tropicales se han cultivado con gran auge en la península de Yucatán, donde se consumen principalmente en fresco. Sin embargo, su corta vida de anaquel impide una adecuada comercialización y transformación, lo que resulta en mermas y en la generación de grandes cantidades de subproductos; esto, aunado a los residuos originados durante la cosecha, conduce a un bajo aprovechamiento integral de estos cultivos. El siguiente capítulo tiene como propósito presentar algunos aspectos relacionados con el desarrollo de métodos de extracción de metabolitos de interés biotecnológico, como las enzimas, pigmentos carotenoides y compuestos antifúngicos, a partir de papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol); el desarrollo de tecnologías alternativas de uso y conservación para el mango (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins) y el aprovechamiento de los subproductos de la agroindustria del marañón (*Anacardium occidentale* L.) para la obtención de ingredientes tecnofuncionales. El desarrollo de

nuevas tecnologías que permitan la obtención de productos de alta calidad y con un alto valor nutritivo y funcional a partir de residuos de la agroindustria tendrá impacto no solamente en la generación de líneas de negocios en empresas nuevas o en las ya existentes, sino que, además, permitirá reducir considerablemente el volumen de residuos producidos durante la cosecha y la poscosecha de la papaya, mango y marañón.

Palabras clave: *Carica papaya*, *Mangifera indica*, *Anacardium occidentale*, Ingredientes funcionales, Enzimas, Compuestos antifúngicos

3.2. INTRODUCCIÓN

La península de Yucatán se localiza al sureste de México, con un territorio de 145,000 km² aproximadamente, y la integran los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. La agricultura en la península de Yucatán tiene ciertas desventajas, sobre todo porque la mayor parte del territorio está conformado por suelos muy delgados y pedregosos, por lo que las áreas adecuadas para llevar a cabo estas actividades son muy escasas. Sin embargo, se produce una gran diversidad de cultivos propios de la región; muchos de ellos nativos, que los distinguen del resto del país. Los dos estados con mayor actividad agropecuaria son Campeche y Yucatán, donde se cuenta con cultivos completamente adaptados para su producción agrícola, con rendimientos considerables, dentro de los que destacan cultivos *básicos* como el maíz y arroz; *agroindustriales* como la caña de azúcar y sorgo; *oleaginosas* como la palma de aceite; *frutales* como los cítricos, papaya, mango y marañón; *hortalizas* como el chile y el jitomate, y *exóticos* como guanábana, anona, saramuyo.

3.2.1. Frutas tropicales

Las frutas tropicales son aquellos frutos comestibles cosechados de plantas cultivadas de ambientes que, en la mayoría de los meses, presentan temperaturas medias superiores a los 18 °C, y geográficamente

están localizados entre los trópicos. Dichas frutas presentan características distintivas que por su sabor, color, aroma, textura y valor nutricional destacan del resto y habitualmente pueden ser ingeridas frescas una vez que alcanzan la madurez; o bien, sometidas a cocción y con ello ser industrializadas y comercializadas en los mercados regionales, nacionales e internacionales.

La producción de los frutales tropicales exóticos, nativos e introducidos, como la papaya (*Carica papaya*), mango (*Mangifera indica*) y marañón (*Anacardium occidentale*) representa una alternativa para la península de Yucatán, ya que existe una gran demanda en los ámbitos nacional e internacional por alimentos e ingredientes funcionales. La fruticultura es muy importante en la península y 11 cultivos aportan 96.64% del valor de la producción estatal (Tabla 1), mientras que otros 21 frutales aportan sólo el restante 3.36% (Moreno, 2010).

Tabla 1. Principales frutales cultivados en los estados que conforman la península de Yucatán

Especie frutal	Superficie cultivada (ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (miles \$)
Limón	6,611.78	120,536.4	218,916.69
Naranja	19,701.80	203,726.09	260,381.26
Papaya	1,810.90	59,911.47	284,989.77
Sandía	2,459.02	50,258.42	160,551.96
Mango	3,029.10	47,256.46	66,705.37
Coco (fruta)	1,499.00	14,096.46	42,622.26
Mamey	436.05	9,177.69	38,867.5
Plátano	947.00	6,621.82	25,191.38
Marañón	815.00	3,688.50	14,522.90
Mandarina	650.10	6,648.49	14,398.7
Toronja (pomelo)	1,089.82	18,978.37	13,113.21

Fuente: SIAP, 2010, www.siap.gob.mx

De los diversos frutales sembrados en la península, el grupo más importante corresponde a los cítricos, seguido de la papaya Maradol, sandía y mango, tanto por la superficie sembrada como por las toneladas producidas.

Con la promulgación de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, se define la conformación de los Comités Sistema Producto, tanto agrícolas como pecuarios, confiriéndoseles la atribución de ser los foros de concertación específicos para cada rama de la producción. El Sistema Producto es un programa mediante el cual los productos de cada uno de ellos se consideran como prioritarios para su desarrollo económico y se integran en una Cadena de Valor. De lo anterior se desprende que actualmente la papaya y el mango se constituyen como dos de los principales Sistema Producto en la península porque generan gran cantidad de empleos e ingresos por la venta de la fruta. Sin embargo, es necesario aplicar acciones de manera organizada a corto y mediano plazos a través de investigación y desarrollo que permitan incentivar la economía de los diferentes sistemas producto, de acuerdo con las oportunidades que ofrecen los mercados agroalimentarios.

3.2.2. Subproductos de cosecha y de comercialización

Un subproducto se define como el producto secundario o incidental, generalmente útil y comercializable, derivado de un proceso de manufactura o reacción química (Gallegos-Tintoré *et al.*, 2009). Se genera una gran cantidad de subproductos, tanto líquidos como sólidos, resultado de la cosecha, producción, preparación y consumo de materias primas, los cuales pueden provocar serios problemas medioambientales; y, al mismo tiempo, representa una pérdida valiosa en biomasa, en nutrientes y en oportunidades de comercialización. Así mismo, en la mayoría de los casos existen pérdidas cuantiosas sin comercializar a consecuencia de la corta vida de anaquel de las frutas tropicales y es sabido que en muchas de ellas se registran pérdidas de hasta el 10% de la producción total.

Es importante hacer notar que muchos de los subproductos sólidos generados por la industria agroalimentaria están constituidos por compuestos naturales procedentes de restos de materias primas fácilmente degradables y/o aprovechables, y que dada las características de composición química de estos subproductos, dan la posibilidad de ser utilizados para otros propósitos con el objetivo de obtener rentabilidad de un producto de desecho y generar alimentos con alto valor agregado. Queda definido que los subproductos de la agroindustria son una fuente prometedora de compuestos de alto valor, como son las fibras, antioxidantes, ácidos grasos esenciales, antimicrobianos, minerales, carbohidratos, vitaminas, proteínas, etc., que pueden ser utilizados por sus propiedades tecnológicas, nutricionales y funcionales, para la industria alimentaria, farmacéutica, química, entre otras.

Así, a modo de ejemplo, para el caso de la papaya se tiene que el cultivo presenta un precoz ciclo productivo, ya que la cosecha inicia a partir del octavo mes de crecimiento, manteniéndose de manera constante hasta los 3 años, que es el fin de la etapa productiva. Sin embargo, durante la cosecha de este fruto se genera una importante cantidad de subproductos, ya sea en el proceso de desmontado de las plantas, cuyo ciclo reproductivo ha concluido, o bien, al retirar plantas enfermas y frutos dañados en estado inmaduro, los cuales pueden representar hasta 5% del total de la producción. El tejido que se encuentra en mayor proporción dentro de los subproductos de cosecha de papaya es el tallo (90.30%), seguido de los frutos (8.47%) (Galindo-Estrella, *et al.*, 2009).

Por otro lado, el ataque de insectos y la incidencia de enfermedades afectan sensiblemente la calidad y presentación de las frutas. Después de la cosecha, la papaya, el mango y el marañón son muy susceptibles a los daños físicos y al deterioro en general, por lo que su manejo tiene que ser muy cuidadoso. Los frutos con características poco deseables para el consumidor (forma, tamaño, sobremadurez, etc.), también son considerados desechos por los productores. Aquellos frutos con lesiones por insectos, pájaros, roedores o afectados

por hongos no deben destinarse al mercado, a menos que los daños cicatrizados no sobrepasen 5% del área de la fruta. Es necesario que la fruta se descarte para su exportación en caso de presentarse signos de daño reciente, ya sea de origen mecánico o manual (durante la recolección y transporte a la instalación), o bien en caso de existir un mayor grado de madurez o enfermedades, tamaño excesivo o insuficiente, así como por la presencia de raspaduras, daño por insectos o forma irregular. Una pequeña porción de la fruta rechazada es utilizada para la obtención de jugos, pero queda una gran cantidad que es destruida mecánicamente o dejada en terrenos para su descomposición natural.

Los desechos de la agroindustria tienen un efecto negativo en el ambiente cuando son dispuestos a cielo abierto, práctica común en nuestra sociedad. El poder contar con procesos que permitan utilizar estos desechos y además obtener algún producto de valor, permite a la agroindustria ofrecer mayores elementos para satisfacer las expectativas económicas y ambientales de la comunidad internacional. La recuperación de compuestos bioactivos en subproductos de la industria transformadora y comercializadora puede darles valor agregado, además de servir como fuente de biocatalizadores, de protectores potenciales de la salud humana o animal y como fungicida botánico, o servir como punto de partida para el desarrollo de nuevos alimentos o ingredientes funcionales. Con este objetivo en mente, en la Unidad Sureste del CIATEJ se han realizado proyectos encaminados a la utilización de estos subproductos, tanto de cosecha como de comercialización, mismos que se describen a continuación.

3.3. INVESTIGACIONES REALIZADAS

3.3.1. Papaya

La papaya pertenece a la familia *Caricaceae*, que agrupa cuatro géneros, de los cuales el más importante es *Carica*. El cultivo de papaya es nativo del sur de México y de Centroamérica, y se ha adaptado muy bien en diversas zonas tropicales y subtropicales del mundo.

Los principales países productores de papaya son Brasil (1,700,000 ton), Nigeria (755,000 ton), India (709,477 ton) México (700,000 ton), Indonesia (470,000 ton) China (152,000 ton) y Tailandia (119,000 ton) (FAO, 2010).

En México se cultivan diferentes variedades, las cuales se han nombrado en función del tamaño, forma, apariencia y procedencia de la fruta. Así, tenemos que la variedad Hawaiiiana tiene frutos pequeños de entre 400 y 600 g; la Maradol roja tiene frutos de entre 1.5 y 2.5 kg y los tipos mexicanos Cera y Mamey que pesan entre 2 y 6 kg (Mandujano, 1998). La variedad Maradol (Figura 1) representa más de 95% de la producción y en la región sureste del país se concentra 80% de su producción, siendo el principal productor el estado de Veracruz, seguido por Oaxaca, Chiapas y Yucatán (Sagarpa, 2009).



Figura 1. Frutos de *Carica papaya* L. var. Maradol

En Yucatán la producción de papaya Maradol se realiza en tres regiones: oriente, norte-centro y poniente, abarcando 20 municipios (Pérez-Miranda y Zapata-Cahuich, 2009). En 2010, en Yucatán se sembraron 764 ha de papaya, lo que significa un valor de producción de aproximadamente \$132,000 (SIAP, 2011), por lo que su cultivo representa una buena fuente de ingresos durante los meses que dura su cosecha.

Cabe destacar que para la ejecución de estos proyectos se contó con el apoyo del Prof. Raúl Monforte, representante legal de la empresa Semilla Caribe Península SA de CV, a través del acceso a las plantaciones, así como con jornales de trabajo en la fase de recolección de materia prima.

A) Biocatalizadores

En toda la planta de papaya se encuentran presentes enzimas proteolíticas, entre las que se pueden mencionar la papaína (EC 3.4.22.2), quimopapaína (EC 3.4.22.6), caricaína (EC 3.4.22.30) y papaya proteinasa IV (EC 3.4.22.25) (Monti *et al.*, 2000). Además de las enzimas proteolíticas, los subproductos de papaya contienen otra enzima igualmente importante, conocida como la lipasa de *Carica papaya*. La papaína consiste en una cadena de polipéptidos con tres puentes disulfuro y un grupo sulfhidrilo necesario para la actividad de la enzima (Galindo-Estrella *et al.*, 2009). La papaína hidroliza tanto las proteínas como los péptidos de pequeño tamaño, amidas y ésteres. Preferentemente actúa sobre los aminoácidos básicos leucina, glicina, así como arginina, lisina y fenilalanina (Azarkan *et al.*, 2003, 2004).

Esta enzima tiene múltiples aplicaciones industriales, por ejemplo, en la industria de los alimentos se utiliza como ablandador de carnes, en la elaboración de quesos y para la preparación de hidrolizados proteínicos y productos de panificación. También es muy utilizada en el pretratamiento de las frutas destinadas a la obtención de jugos y aceites esenciales, así como durante el proceso de clarificación del vino y la cerveza (Morton, 1987). En la industria dietética se emplea

en la producción de alimentos especiales para bebés, ya que mejora la capacidad de asimilación de los alimentos al degradar los compuestos de alto peso molecular a cadenas más cortas de fácil asimilación (Azarkan *et al.*, 2003).

En la industria del cuero se utiliza para disminuir las protuberancias y dar un aspecto fino al mismo. En la industria textil, para desengomar la seda; en la industria de la lana, para reducir el encogido al lavar y para mejorar la calidad de las tinturas usadas. En la industria farmacéutica se utiliza en el tratamiento de la difteria, úlceras sifilíticas, edemas y psoriasis. También se han encontrado aplicaciones como analgésico y antiinflamatorio, en las dismenorreas femeninas y también en artrosis y osteoporosis (Glibota *et al.*, 2000; Hui *et al.*, 2006).

El mercado mundial de enzimas proteolíticas se encuentra en expansión, por lo que es importante la búsqueda de fuentes alternativas para la obtención de la enzima, con esta finalidad se planteó el proyecto "Desarrollo de un proceso para obtención de papaína a partir de subproductos de cosecha de papaya (*Carica papaya* L)", el cual fue ejecutado en dos etapas. La primera consistió en una fase analítica para conocer el contenido, distribución y la actividad proteolítica de la enzima en los diferentes tejidos de la papaya (hoja, tallo, peciolo, etc.). La información obtenida sirvió como base para la etapa preparativa en la cual se estandarizaron los métodos que pueden ser utilizados industrialmente para la extracción y secado de extractos de papaya obtenidos a partir de los subproductos con el mayor potencial.

La separación de las proteínas de los subproductos de cosecha con base en su solubilidad (precipitación salina) demostró que la hoja presentó el mejor rendimiento de extracción total ($1.28 \pm 0.05\%$), asimismo, a partir de este material se extrajo la mayor cantidad de proteína en comparación con los demás subproductos ($P < 0.05$). El fruto presentó el menor rendimiento de extracción total ($0.17 \pm 0.00\%$) y a partir de éste se extrajo la menor cantidad de proteína (0.34 mg/g de fruta seca) (Galindo-Estrella *et al.*, 2009).

Otra manera de separar las proteínas de la matriz que la contiene es utilizando el proceso de prensado, el cual aunque no sea un método práctico es recomendado como método de extracción, ya que permite mantener el estado original, constituyentes e intensidad del extracto. Al emplear el método de prensado mecánico se obtuvieron rendimientos de extracción de proteína similares ($P < 0.05$) entre las materias primas de fruto y tallo (6.3 mg de proteína/g de fruto y 6.4 mg de proteína /g de tallo); los rendimientos totales fueron diferentes entre sí, con 103.6 mg de extracto enzimático/g de fruto seco y 64.2 mg de extracto enzimático/g de tallo seco (Tabla 2).

El material vegetativo que mejor se comportó en las pruebas de prensado fue el tallo; por su naturaleza fibrosa y forma alargada, permitió ser atrapado fácilmente por los rodillos del equipo; el fruto no fue fácilmente triturado ya que es un material suave, poco celulósico y con alto contenido de humedad.

Tabla 2. Rendimientos de extracción obtenidos con el método de prensado mecánico

	Subproductos	
	Fruto	Tallo
Peso muestra fresca (g)	525 ± 7.00	420 ± 0.28
Peso del liofilizado (g)	10.56 ± 0.31 ^a	6.62 ± 0.60 ^b
Contenido de proteína del liofilizado (%)	5.67 ± 0.50 ^a	10.12 ± 0.20 ^b
Rendimiento total en B.S. (%)	10.36 ± 0.14 ^a	6.42 ± 0.39 ^b
Rendimiento de proteína en B.S. (%)	0.63 ± 0.01 ^a	0.64 ± 0.00 ^a

Letras diferentes (superíndices a, b) en la misma fila indican diferencia estadística ($P < 0.05$)

De acuerdo con los perfiles electroforéticos obtenidos, se determinó la presencia de papaína (23 KDa) tanto en los extractos obtenidos por precipitación salina como por prensado mecánico; es necesario señalar que en los extractos obtenidos mediante prensado se detectaron las bandas con mayor intensidad. En el perfil electroforético de los extractos obtenidos por precipitación salina de hoja y pecíolo, se identificó la presencia de proteínas menores a 14 kDa (Galindo-Estrella *et al.*, 2009), las cuales se reporta que están relacionadas con la patogénesis, es decir, cumplen un papel en el mecanismo de defensa en la planta.

Los extractos obtenidos, tanto por prensado mecánico como por precipitación salina, presentaron bandas de degradación en geles de sustrato. Lo anterior refuerza la hipótesis de que es posible obtener extractos enzimáticos a partir de subproductos de cosecha, siendo el fruto y el tallo los materiales con mayor potencial de aprovechamiento.

Por otro lado, se determinó la actividad lipolítica en los subproductos de cosecha de *C. papaya*, encontrándose que la hoja es una fuente potencial de esta hidrolasa. También se evaluó un método de secado por aspersion de extractos enzimáticos acuosos y se purificaron parcialmente mediante cromatografía de intercambio iónico las cisteín proteasas presentes en los extractos enzimáticos de subproductos con el mayor potencial de aplicación (fruto y tallo). Referente a la actividad proteolítica, los extractos enzimáticos obtenidos del fruto y tallo presentaron la mayor actividad específica, mientras que los extractos enzimáticos de hoja, la menor. Se validó exitosamente el método de secado por aspersion, logrando obtener extractos enzimáticos a partir de los subproductos de fruto y tallo, estos extractos presentaron actividad proteolítica y rendimientos de extracción aceptables.

Derivado de estas investigaciones se sometió ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI) la solicitud de patente MX/a/2009/013997; el examen de forma fue satisfecho el 16 de julio de 2010 y actualmente se encuentra en la etapa de análisis de fondo.

B) Carotenoides

En estricto apego a la realidad, aquellas frutas que no pasan el primer control no necesariamente deben ser descartadas. La gran mayoría se destina al consumo doméstico local o se envían a la industria secundaria para la elaboración de jugos o deshidratados. Otra opción de aprovechamiento es emplear estos descartes de comercialización como materia prima para la obtención de pigmentos carotenoides, tratando de conocer el contenido de estos metabolitos en los frutos cosechados en el estado de Yucatán con el fin de establecer el valor agregado que pudieran tener estos subproductos, principalmente porque el mercado de carotenoides está en expansión debido a que se busca reemplazar los colorantes artificiales por pigmentos naturales que, además de ser atractivos para los consumidores, aporten beneficios al organismo humano, tales como los carotenoides, que son reconocidos por sus diversas actividades biológicas como provitamina A y antioxidantes.

Considerando la importancia de lo anteriormente planteado se desarrolló el proyecto denominado "Aprovechamiento de subproductos de frutas tropicales para la obtención de pigmentos carotenoides", que consistió en el estudio de la extracción de carotenoides de subproductos de comercialización de papaya empleando tecnologías tradicionales y de punta y evaluando su actividad antioxidante, con la finalidad de obtener aditivos naturales (pigmentos) que puedan servir como ingredientes para la industria farmacéutica o alimenticia.

Como parte de la estrategia experimental se evaluaron dos métodos de extracción tradicional basados en la utilización de solventes orgánicos, en general el método reportado en la normatividad mexicana tuvo un menor desempeño comparado con el método B (acetona-éter de petróleo), ya que con éste se alcanzan los mayores rendimientos de extracción al emplear papaya fresca sin semilla ($3.56 \pm 0.07\%$ B.S.). El método reportado en la normatividad mexicana para extraer pigmentos carotenoides es muy largo, pues requiere más de 16 horas para completar todo el proceso extractivo y de saponificación, por lo que es altamente recomendable utilizar alguna metodología

que no sólo permita disminuir el tiempo sino que además se obtenga mayor rendimiento. Así, el método de extracción propuesto utilizando acetona y posterior transferencia a éter de petróleo se efectúa en aproximadamente 10 h y se incrementan los rendimientos de la fracción lipofílica rica en carotenoides

En la extracción de carotenoides con fluidos supercríticos se encontró que estadísticamente el nivel más bajo de presión (3000 psi) y la temperatura más elevada (50 °C) permiten obtener el mayor rendimiento porcentual de extracto rico en carotenoides. Los rendimientos obtenidos con este proceso fueron de 0.98% para la papaya, quedando la materia prima evidentemente decolorada después de la extracción con fluidos supercríticos (Figura 2).

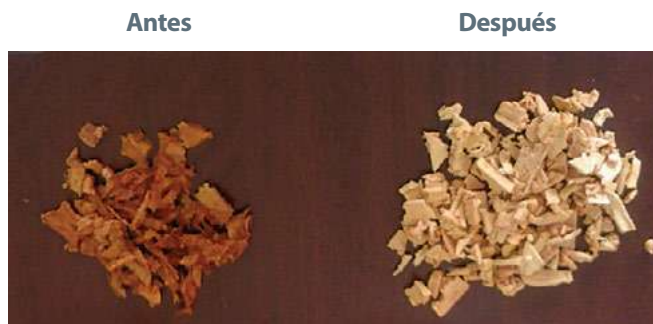


Figura 2. Muestras de papaya Maradol antes y después de la extracción con CO₂ en estado supercrítico

La cuantificación de carotenoides utilizando HPLC mostró la presencia de β -caroteno y licopeno en todos los extractos analizados, en concentraciones que variaban de 1.07 $\mu\text{g/ml}$ hasta 2.49 $\mu\text{g/ml}$ para el β -caroteno y de 0.775 $\mu\text{g/ml}$ a 21.2 $\mu\text{g/ml}$ para el licopeno, resultando mejor el empleo de solventes orgánicos para la extracción pues permitió obtener los mayores contenidos de estos pigmentos en los extractos.

Finalmente, se determinó la actividad antioxidante de los extractos orgánicos seleccionados (acetona-éter de petróleo) obtenidos de papaya conteniendo o no semillas (Tabla 3), utilizando el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) y el radical superóxido.

Tabla 3. Actividad antioxidante de los extractos de carotenoides obtenidos de papaya

Papaya	Pretratamiento	% de Reducción del radical	
		DPPH	Superóxido
Con semilla	Fresco	8.227 ± 0.183 ^a	4.974 ± 0.129 ^a
	Congelado	2.620 ± 0.381 ^b	2.301 ± 0.129 ^b
	Seco	1.584 ± 0.106 ^c	1.856 ± 0.204 ^c
Sin semilla	Fresco	8.958 ± 0.183 ^d	5.494 ± 0.128 ^d
	Congelado	3.230 ± 0.279 ^e	2.449 ± 0.223 ^e
	Seco	1.158 ± 0.106 ^f	1.708 ± 0.128 ^f

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ($P < 0.05$)

Después de realizar el análisis de varianza para la actividad antioxidante se obtuvo que el pretratamiento realizado al puré de fruta (fresco, congelado o secado) tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de inhibición, alcanzándose los valores de reducción del radical más elevados cuando se emplea la papaya fresca para obtener extractos, ya que tanto el congelado como el secado del puré reducen drásticamente la capacidad de los carotenoides extraídos de capturar a los radicales empleados en la determinación. De igual forma, el empleo de papaya sin semilla permite obtener la mayor cantidad de captura de las especies oxidantes utilizadas.

C) Compuestos antifúngicos

La papaya es una fruta muy susceptible al manejo de poscosecha y si no se tienen los cuidados necesarios se producen mermas de un

alto costo económico. Las pérdidas de papaya durante el periodo de poscosecha se deben en su mayor parte al ataque de hongos, encontrándose principalmente daños ocasionados por *Colletotrichum gloeosporioides* que causa la antracnosis (Bautista-Baños *et al.*, 2003). Como alternativa para la eliminación de enfermedades fúngicas en los frutos de papaya se sugiere el empleo de extractos procedentes de fuentes vegetales que contienen metabolitos secundarios con actividad biológica, es decir, se busca el desarrollo de fungicidas nuevos, seguros, naturales y biodegradables. Considerando la importancia de lo anteriormente mencionado, se planteó el proyecto "Obtención de fungicidas de bajo impacto ambiental", cuyo objetivo fue desarrollar un fungicida de bajo impacto ambiental para el tratamiento poscosecha de papaya Maradol.

En las hojas y semillas de *Carica papaya* L. se ha reportado la presencia de enzimas proteolíticas (papaína, quimopapaína), alcaloides (carpaína, carpasemina), componentes azufrados (bencil isotiocianato), flavonoides, triterpenos, ácidos orgánicos y aceites (Osuna *et al.*, 2005). Entre las actividades biológicas reportadas para los extractos obtenidos de diversos tejidos de la planta se encuentran: actividad antifúngica de extractos acuosos de hojas y semillas de *C. papaya* contra *C. gloeosporioides* (Bautista *et al.*, 2002; 2003); antihelmíntica de extractos acuosos y orgánicos de semilla de *C. papaya* al ser evaluados contra *Caenorhabditis elegans* (Kermanshai *et al.*, 2001; Adebisi y Adaikan, 2005); antidiarréica, antidisentérica (Osuna *et al.*, 2005) y antibacteriana en los extractos alcohólicos de epicarpio, endocarpio, semillas de la fruta madura e inmadura así como de las raíces de la planta (Emeruwa, 1982; Doughari *et al.*, 2007).

Mediante un proceso de extracción etanólica es posible obtener compuestos bioactivos a partir de harina de hoja de *C. papaya* L. cv. Maradol, con un rendimiento de 5.9% empleando el mejor tratamiento, esto representa la obtención de 59 g de extracto por cada kilo de harina de hoja de papaya (Chávez-Quintal *et al.*, 2011). En estos extractos se encuentran presentes diversos tipos de metabolitos secundarios (Tabla 4); la mayoría de los grupos de compuestos han sido reportados con actividad antimicrobiana (Gallegos *et al.*, 2008).

Tabla 4. Identificación cualitativa de compuestos fitoquímicos en extractos de hoja de papaya

Rendimiento	Alcaloides	Flavonoides	Triterpenos	Saponinas
Alto	+++	++	+++	+
Bajo	++	+	++	+

(-) Negativo (+) escaso (++) Moderado (+++) Abundante

En experimentos realizados *in vitro*, estos extractos etanólicos de hoja de papaya inhiben el crecimiento micelial de los hongos *Fusarium sp.*, *Dydimella brionae*, *Fusarium solani* y *Colletotrichum gloeosporioides* causantes de enfermedades poscosecha, aunque en diferentes proporciones (Tabla 5).

El único hongo que no fue inhibido por los extractos de hoja de papaya fue *Rhizopus stolonifer*.

Los extractos de hoja de papaya fueron evaluados contra un fungicida comercial que tiene como ingredientes activos metalaxil (4.5% en peso) y clorotalonil (72.0%), el cual fue utilizado en una concentración de 1 g/l.

La mínima concentración a la cual el extracto etanólico de hoja inhibe al menos 50% del crecimiento (en peso seco) de un microorganismo se

Tabla 5. Inhibición micelial de hongos fitopatógenos empleando extractos de hoja de papaya (20 mg/ml) y su comparación con un fungicida comercial

Microorganismo	% inhibición micelial	
	EEH	Fungicida comercial
<i>D. brionae</i>	10.17 ± 1.25	48.21 ± 0.26
<i>Fusarium sp.</i>	18.17 ± 1.80	60.82 ± 0.30
<i>F. solani</i>	18.82 ± 0.96	82.93 ± 0.22
<i>C. gloeosporioides</i>	21.84 ± 1.30	51.20 ± 1.30
<i>R. stolonifer</i>	0	32.56 ± 0.90

medió en Caldo Papa Dextrosa (CPD), diluyendo serialmente el extracto en tween al 0.5% para obtener concentraciones de 5, 2.5, 1.25 y 0.625 mg/ml. Se encontró que tanto para *F. solani* como para *C. gloesporioides* fue mayor a 10 mg/ml (Chávez-Quintal *et al.*, 2011), mientras que para *Fusarium* sp. fue de 0.625 mg/ml y para *D. brionae* fue de 1.25 mg/ml (Figura 3).

Se formuló un fungicida empleando un emulsificante, obteniéndose una emulsión homogénea, la cual es soluble en agua. El fungicida botánico formulado presenta resultados favorables al evaluarse *in vivo*

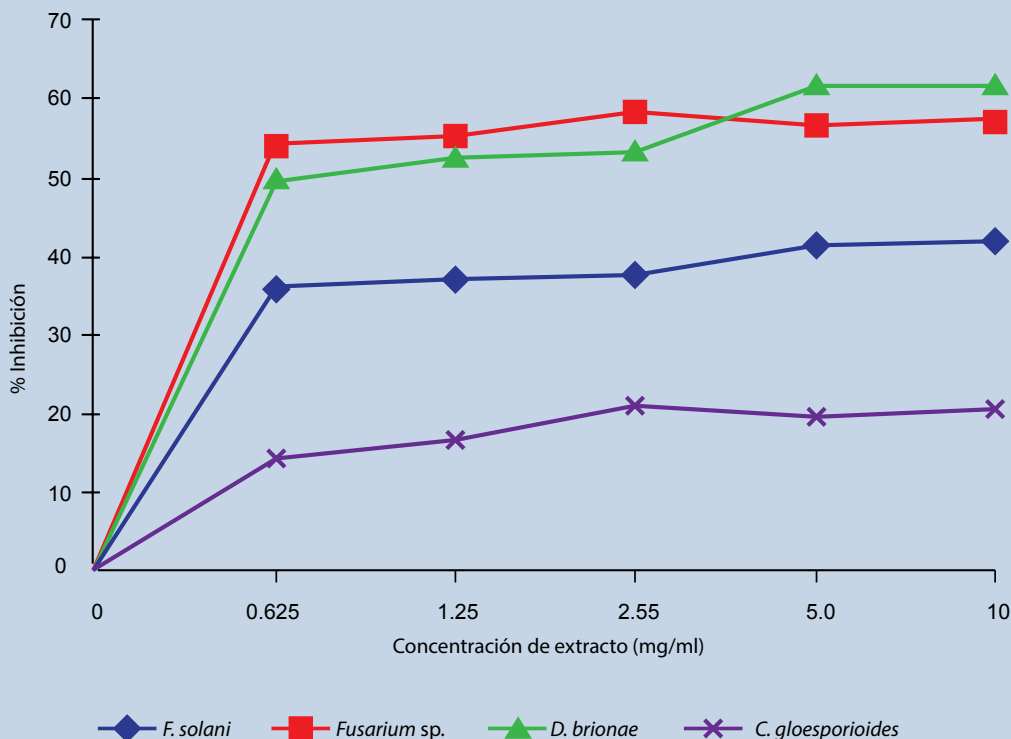


Figura 3. Porcentaje de inhibición respecto del peso seco en caldo dextrosa papa

en frutos de papaya Maradol sometidos a una temperatura de almacenamiento de 28.5 °C, evitando el crecimiento de *Fusarium solani* a las 96 h de aplicación.

Las pruebas toxicológicas y de biodegradabilidad clasifican al producto formulado como moderadamente tóxico y biodegradable en 97%, por lo que las indicaciones de seguridad para el usuario son mínimas.

3.3.2. Mango

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales (Figura 4) más conocidas en todo el mundo y con grandes volúmenes de producción. En 2010, México ocupó el quinto lugar en el ámbito mundial en producción, después de India, China, Tailandia y Pakistán. En México, el mango representó una producción de 1,632,650.00 ton, con una derrama económica aproximada de \$978,230,000.00 (FAOSTAT, 2010), de manera particular el estado de Campeche aportó una producción de 42,933.70 ton de mango (Cadena Agroalimentaria del Mango, 2003; SIAP, 2010).

Debido a las atractivas características sensoriales del mango, la industria mundial ha venido explotando esta fruta no sólo como producto fresco sino también como producto procesado, obteniendo así una amplia variedad de alimentos, como mermeladas, jaleas, almíbar, deshidratados, salsas, jugos, bebidas lácteas, etc. (Cadena Agroalimentaria del Mango, 2003; Rocha *et al.*, 2007). Por otra parte, en nuestro país la explotación de esta fruta no es tan importante como la de otros cultivos de primera necesidad, como la caña de azúcar y el maíz, lo que trae como consecuencia que un alto porcentaje de la fruta no sea aprovechado y termina siendo parte de los subproductos; adicionalmente, la corta vida de anaquel del fruto contribuye al deterioro y desaprovecho en su comercialización (Diagnóstico del Sistema Producto Mango, 2003).

Es importante hacer notar que la parte comestible del fruto constituye entre 60-75%, con un porcentaje de humedad de hasta 84%.



Figura 4. Fruto de mango (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins) cosechado en la plantación de los Almendros en Nunkiní, Campeche

Los carbohidratos, por su parte, son los macronutrientes mayoritarios en el mango (10-20%); predominando los azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa).

En general, los frutos verdes son ricos en vitamina C y una cantidad moderada de provitamina A, mientras que los mangos maduros son fuente importante de provitamina A (principalmente en forma de β -caroteno), con moderado aporte de vitamina C. En concreto, un mango de 300 g aporta 70% de la cantidad diaria recomendada de vitamina A, y con 37 mg por cada 100 g de porción comestible de vitamina C, el cual cubre 185% de las necesidades diarias de esta vitamina. Adicionalmente, es una fuente importante de vitamina E y folatos, así mismo, y en menor medida, aporta otras vitaminas como B2 y niacina. Entre los minerales destacan el potasio y el magnesio, aunque también proporcionan pequeñas cantidades de hierro,

fósforo y calcio. También contiene fibra soluble (pectinas), ácidos orgánicos (cítrico, málico, succínico, urónico, tartárico y oxálico) y taninos (Rocha *et al.*, 2007).

En lo que respecta a los compuestos antioxidantes, el mango es una fuente rica en este tipo de compuestos, incluyendo el ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos (flavonoides, xantonas, glicósidos, galotaninos y otros). La presencia de compuestos fenólicos en la dieta humana está asociada a efectos protectores frente a algunas enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo (Rocha *et al.*, 2007). Por citar un ejemplo, los flavonoides poseen una fuerte actividad antioxidante, anticancerígena, antiaterogénica, etc., tal es el caso de la mangiferina, una xantona- C-glicósido, con propiedades farmacológicas, además de su capacidad antioxidante, antitumoral y antiviral.

A) Desarrollo de nuevos productos

Es sabido que en el estado de Campeche las pérdidas en la producción de mango son cuantiosas, afectando a productores de Tenabo, Hecelchakán, Calkiní, Pomuch, Bacabchén, Nunkiní y Hopelchén. Este panorama obliga a desarrollar procesos de transformación del mango que incrementen su valor agregado y mejoren su comercialización, y al mismo tiempo desarrollar procesos de conservación que alarguen su vida de anaquel (Alzamora *et al.*, 1995).

Entre las posibilidades tecnológicas para industrializar el mango está el siguiente proyecto de investigación cuyo objetivo fue desarrollar un proceso tecnológico para producir puré de mango macedado enzimáticamente con pectinasas, que sea técnica y económicamente factible, como una alternativa comercial para el fruto que no se vende en fresco y/o no se logra comercializar. Adicionalmente, para poder garantizar los estándares de calidad microbiológica, se requiere implementar sistemas de conservación que aseguren la estabilidad microbiológica del producto. Esta conservación pudo lograrse mediante la combinación de tratamientos térmicos, control de pH y adición de conservadores para uso alimenticio y con

esto mantener sus características de calidad comercial (Dziezak, 1986; Barbosa-Cánovas *et al.*, 1998; Badui, 2006).

Pues bien, los resultados más significativos demostraron que en cuanto a las características fisicoquímicas, proximales, microbiológicas y nutrimentales del mango Tommy Atkins cosechado en las comunidades de Nunkiní, Bacabchén y Pomuch, en el estado de Campeche, fueron suficientes en cuanto a peso, tamaño, diámetro del fruto y reúnen los requerimientos de comercialización del mercado para venta en fresco; adicionalmente, su contenido de acidez, pH y azúcares (Tabla 6) fueron adecuados para su uso en la obtención de purés y derivados, a partir de la pulpa madura de mango (Figura 5). Otro hallazgo importante es que la pulpa de mango contiene un elevado contenido de compuestos carotenoides, que además de tener capacidad antioxidante, son precursores de vitamina A; la presencia



Figura 5. Obtención de pulpa de mango cosechado en distintas localidades de Campeche

de estos compuestos es un dato relevante, ya que pueden contribuir a incrementar la ingesta de antioxidantes y vitaminas esenciales para la dieta humana (Gonzalez *et al.*, 2001; Barret, 2007).

Tabla 6. Análisis fisicoquímico y proximal de muestras de pulpa de mango (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins) escaldada procedente de tres localidades del estado de Campeche

	Bacabchén	Nunkiní	Pomuch
Humedad %	78.35 ± 0.69	79.96 ± 0.45	83.09 ± 0.41
Ceniza %	0.5367 ± 0.07	0.3767 ± 0.00	0.4183 ± 0.01
Grasa %	0.2898 ± 0.03	0.2348 ± 0.10	0.1820 ± 0.01
Fibra %	0.4897 ± 0.03	0.5440 ± 0.00	0.5551 ± 0.02
Proteína %	1.1671 ± 0.06	0.9862 ± 0.03	0.9055 ± 0.03
ELN %	19.56 ± 0.65	18.11 ± 0.50	15.15 ± 0.41
pH	4.36	3.63	3.91
Acidez %	0.92	1.33	1.06
°Brix	21.67	18.60	15.93
Rendimiento (%)	63.63	66.62	58.56
Mesofílicos aerobios UFC/g	100	40	<10
Coliformes totales	<10	<10	<10
Hongos y levaduras	<10	<10	<10

En relación con la elaboración enzimática de puré de mango, se logró implementar un proceso a nivel laboratorio para obtener extractos crudos enzimáticos de pectinasas a partir de hongos pectinolíticos, con actividad específica de la endo-p y fueron evaluadas para elaborar un proceso de maceración en pulpa de mango Tommy Atkins (Schols y Voragen, 1996; Sakho *et al.*, 1998; Reyes *et al.*, 2006), obteniéndose una actividad aceptable de pectina liasa (PL) y pectina esterasa (PE). La actividad específica de este extracto

fue de 123%, 44% y 64.7% para endo-p, PL y PE respectivamente, en relación con la enzima comercial. Bajo estas características enzimáticas se lograron establecer las condiciones más adecuadas para realizar el proceso de maceración enzimática del mango Tommy Atkins, el cual dependió de la temperatura de incubación, pH, concentración de enzima activa (en mg de proteína/100 g pulpa fresca) y el tiempo de maceración.

Considerando estas condiciones se obtuvo puré de mango con reducciones en viscosidad, así mismo presentaron poca sinéresis con 0.1 a 0.35 ml de agua/g de pasta. Además, se obtuvieron rendimientos elevados de pulpa macerada del orden de 96.7% al de 97.35% para el mango proveniente de Bacabchén y Nunkiní, respectivamente. Ambos macerados presentaron un color estable y una cantidad de sólidos solubles de 16° Brix. Los resultados obtenidos son concluyentes para indicar que la obtención de macerados enzimáticos utilizando el extracto crudo (rico en endopectinasas, pectinaliasa y pectinmetilesterasas) y la enzima comercial (con actividad de endopectinasas, pectinaliasas y pectinmetilesterasas además de celulasas y hemicelulasas), produjo respuestas diferentes en la reducción de viscosidad. Así mismo, la maceración con el extracto crudo fue más controlada, lo que se tradujo en productos más viscosos pero más estables, con una mínima liberación de agua. Mientras que la maceración con la enzima comercial parece hidrolizar la pared celular del fruto lo que conduce a una reducción de 70% de viscosidad, con una liberación de 0.64 ml de agua/g de pasta. Adicionalmente, la formulación con conservadores y acidulantes dio como resultado que el puré macerado de Nunkiní tuviera un vida de anaquel de 2.5 meses a 35 °C, hasta 5.5 meses a 25 °C y de un año a 10 °C. Por otro lado, el puré de mango de Bacabchén adicionado con aditivos puede ser almacenado a 40 °C por tres meses. El puré de Nunkiní sin aditivos puede ser almacenado por dos meses a temperatura ambiente y el de Bacabchén por un mes.

Estos resultados confirman la importancia potencial de comercialización para la elaboración de purés para bebés, néctares de mango y derivados, como pueden ser jugos. La finalidad del empleo de

tratamientos enzimáticos representa una ayuda importante en los procesos en la industria de bebidas, en especial en la producción de puré, pues facilita a nivel industrial etapas como mezclado, bombeo y llenado de envases, que permiten ahorros considerables de energía, la conservación del puré de mango a temperatura ambiente utilizando aditivos y conservadores contra microorganismos, garantiza la calidad microbiológica del producto para el consumidor y disminuye costos innecesarios de refrigeración.

Finalmente, desde el punto de vista de la viabilidad técnico-financiera, el proyecto de inversión del proceso de producción de enzimas es prometedor, ya que el valor presente neto (VAN) evaluado a tasa de rentabilidad mínima aceptada (TREMA) de 8.8% es de \$1.2 millones M.N. La TIR financiera es de 15%. Por consiguiente, el proyecto de inversión de producción de macerados de mango muestra viabilidad, bajo los supuestos planteados, ya que el VAN evaluado al TREMA de 8.8% es de \$11.7 millones M.N. La TIR resulta en 22%. Los resultados de prefactibilidad son alentadores, sin embargo, es necesario validar el proceso a nivel piloto, sobre todo terminar de definir el concepto de los productos, por su uso, presentación, etc. Por ejemplo, la pulpa a granel tendría un menor costo y seguramente sería un escenario más favorable. Los resultados más importantes de este proyecto, concluyeron que el puré de mango obtenido tiene alta calidad, con color y sabor parecido al del mango fresco. Finalmente, se evaluó la viabilidad técnico económica de ambos desarrollos para determinar sus beneficios económicos potenciales en el sector productivo y en la industria regional.

3.3.3 Marañón

El marañón (*Anacardium occidentale* L.) constituye un frutal con elevado potencial debido a la demanda y comercialización de la nuez en los mercados internacionales, lo que garantiza un movimiento anual aproximado de \$500 millones USD, con una producción cercana a las 3,585,807.00 toneladas (SIAP, 2010).

El árbol de marañón *Anacardium occidentale* L. (Figura 6) es originario de las zonas tropicales de América; llamado también merey, caju, cashew o cajuil, pertenece a la familia *Anacardiaceae*, cosechándose de manera dispersa entre el sudeste de Florida hasta el sur de Sudáfrica, siendo Vietnam, India y Nigeria los mayores productores (Tabla 7). Su cosecha y producción se concentra en los países del tercer mundo, donde genera una gran demanda económica y social, gracias al mercado importador compuesto por cerca de 50 países, donde destacan: Canadá, Holanda, Alemania, Estados Unidos, Japón, Inglaterra, Francia e Italia (SIAP, 2010).

El marañón destaca entre los frutales tropicales debido a los progresos tecnológicos alcanzados, que posibilitan el aprovechamiento del fruto integral (nuez y pseudofruto). El principal producto es la almendra, resultante del procesamiento del verdadero fruto, la cual constituye una de las más comercializadas en el mercado internacional de nueces comestibles, donde el precio que alcanza resulta el principal estímulo para los países productores. Sin embargo, también se obtienen otros productos de importancia económica como el aceite extraído de la cáscara de la nuez, además de una gran cantidad de subproductos a menor escala derivados de la transformación del pseudofruto (Lowor y Agyente-Badu, 2009).



Figura 6. Árbol de marañón (*Anacardium occidentale* L.) y su fruto en el Rancho Santa Rita, Nilché, Campeche

**Tabla 7. Situación actual en la producción de marañón
(*Anacardium occidentale* L.) en el ámbito mundial**

país	toneladas
América	
Belice	1,080
Brasil	102,002
República Dominicana	1,283
El Salvador	3,380
Honduras	1,851
México	2,719
Perú	2,124
África	
Angola	1,750
Benin	69,700
Burkina Faso	4,800
Costa de Marfil	370,000
Ghana	28,400
Guinea	1,260
Guinea-Bissau	91,100
Kenya	8,600
Madagascar	6,200
Malí	2,900
Mozambique	67,200
Nigeria	594,000
República Unida de Tanzania	80,000
Senegal	5,700
Togo	790
Asia	
China	640
Filipinas	134,681
India	613,000
Indonesia	174,300
Malasia	12,400

Continuación...

Sri Lanka	6,490
Tailandia	37,857
Vietnam	1,159,600

En México, esta especie frutal ha demostrado una amplia adaptación a las condiciones climáticas de los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero y Veracruz (Tabla 8). En el año 2010 el estado de Campeche ocupó el primer lugar nacional en producción agrícola de marañón, siendo los municipios de Campeche y Champotón (Tabla 9) los de mayor producción (ton), con ganancias alrededor de \$14,522.90 miles de pesos (SIAP, 2011).

Tabla 8. Resumen de la producción de marañón (*Anacardium occidentale* L.) cosechado en el ámbito nacional para el año agrícola 2010

Ubicación	Sup. sembrada (ha)	Producción (ton)	Valor producción (miles de pesos)
Campeche	815	3,688.50	14,522.90
Chiapas	712	608.48	3,224.47
Guerrero	13	64.9	195.47
Veracruz	19	44	169.3
	1,559.00	4,405.88	18,112.14

<http://www.siap.gob.mx>

Tabla 9. Principales municipios productores de marañón (*Anacardium occidentale* L.) en el estado de Campeche para el año agrícola 2010

Ubicación	Sup. sembrada (ha)	Producción (ton)	Valor producción (miles de pesos)
Campeche	216.5	1,466.00	5,706.80
Champotón	520	1,790.50	7,520.10
Hecelchakán	3	18	54
Tenabo	75.5	414	1,242.00

<http://www.siap.gob.mx>

Es importante considerar que el pseudofruto que sostiene la nuez también es comestible; en México se consume como fruta fresca, sin embargo, en otros países es utilizado como alimento para el ganado, así como en la elaboración de un vino tradicional hecho con el jugo fermentado de la pulpa. En el estado de Campeche, la pulpa es poco apreciada pues sólo 10% de la producción total suele consumirse como fruta fresca, así como en jugos, dulces y conservas, esto por su sabor astringente, corta vida de anaquel y corto ciclo de producción, resultando en un desaprovechamiento de aproximadamente 90% de las toneladas de pseudofruto (Comunicación personal, Agros Marañón SA de CV). Cabe señalar, que dentro de las características nutricionales, la pulpa posee más del doble de contenido en vitamina C que la naranja, una buena cantidad de vitamina E, componentes minerales (sodio, potasio, magnesio, zinc, calcio, fósforo, hierro y cobre), abundantes compuestos polifenólicos (taninos), carotenos, flavonoides y azúcares (Assunção y Mercadante 2003; Trevisan *et al.*, 2006; Sousa de Brito *et al.*, 2007; Lowor y Agyente-Badu, 2009), por lo que se considera un producto potencial para la obtención de alimentos como néctares, mermeladas, fruta seca, puré, bebidas fermentadas, harinas, etc. Lamentablemente, a pesar de los incrementos en la producción de marañón en México, aún no existe una adecuada comercialización del pseudofruto, debido a la falta de tecnologías alimentarias que permitan la elaboración de nuevos productos competitivos a los mercados regional, nacional e internacional.

Esta situación se agrava por la corta vida de anaquel que tiene la pulpa, lo que origina que el producto no se logre comercializar y se deteriore rápidamente después de la cosecha, registrándose cuantiosas pérdidas económicas. Este panorama obliga a buscar alternativas de transformación y comercialización para la pulpa de marañón que no se vende en fresco, con la finalidad de incrementar su valor agregado, y con ello permita su venta y distribución de manera directa y sin intermediarios, mediante la obtención de un producto comercial, el cual incremente su demanda en consumo del mercado. Tales alternativas cubrirán su factibilidad técnica y económica para que reditúen en beneficios económicos directos especialmente a los pequeños productores, y tengan un elevado impacto en empresas del ramo alimenticio. De aquí que

este fruto exhibe fuertes oportunidades debido a su alta calidad nutricional, abundancia y disposición en el estado de Campeche.

A) Ingredientes funcionales

Teniendo en cuenta que la pulpa de marañón cultivado en el estado de Campeche posee altas probabilidades de comercialización, se desarrolló el presente proyecto, el cual tiene como objetivo evaluar el uso potencial del pseudofruto de marañón que se cosecha y no se comercializa en el estado de Campeche, con la finalidad de elevar su valor comercial. El presente proyecto se desarrolló en el laboratorio de tecnología de alimentos del CIATEJ Unidad Sureste.

Para iniciar los estudios encaminados al aprovechamiento integral de los subproductos agroindustriales del marañón fue necesario realizar una caracterización fisicoquímica, bromatológica, nutrimental y microbiológica, con la finalidad de conocer sus características de calidad. Entendiéndose como calidad el conjunto de todos los atributos que se combinan, para hacer que el pseudofruto de marañón sea aceptable nutricional y microbiológicamente para el consumo humano. Para este fin, se realizó una prospección y valoración de la cosecha del pseudofruto de marañón con la colaboración de la empresa Agros Maraños SA de CV ubicada en la localidad de Nilché, Campeche (Figura 7).

A continuación se presentan las características fisicoquímicas y microbiológicas del pseudofruto de marañón variedad roja (*Anacardium occidentale* L.), proveniente de la huerta de Agros Maraños SA de CV, cosechado en la primera temporada 2010, en el estado de Campeche (Tabla 10).

La determinación de humedad en el pseudofruto fresco de marañón recolectado en la misma temporada se presenta en la Tabla 10 y permite constatar su elevado contenido de agua, lo que aunado con su elevado nivel de azúcares (representado en °Brix) favorece la descomposición y baja vida de anaquel de este producto.



Figura 7. Visita de prospección, valoración de desechos agroindustriales en el Rancho Santa Rita ejido de Nilché municipio de Campeche.
a) Árbol de marañón (*Anacardium occidentale* L.); b) Observación general de las plantaciones de marañón; c) Colecta de pseudofruto; d) Jornaleros durante la cosecha de la castaña

Por otra parte, la medición del color en el pseudofruto completo, en cáscara y en pulpa, permite evaluar de manera indirecta su grado de madurez (Tabla 10). Los resultados demuestran que el color tanto en la cáscara como en la pulpa fue bastante uniforme. Los cambios de color en las frutas son de vital interés para la industria, ya que constituye un parámetro de calidad para el consumidor y el grado de madurez y descomposición. Sin embargo, al igual que el color, sabor y textura de una fruta, son propiedades complejas, lo cual está directamente relacionado con el consumidor para apreciarlas.

El análisis proximal y determinación de vitamina C del pseudofruto de marañón en fresco se muestran en la Tabla 10. Estos resultados



(Figura 7) Continuación... e) Desaprovechamiento agroindustrial del pseudofruto de marañón en las plantaciones de marañón; f) Transportación de pseudofruto de marañón al laboratorio de tecnología de alimentos del CIATEJ Unidad Sureste; g) Recolecta de la castaña; h) Fruto maduro de marañón

indican los parámetros de calidad nutricional que el consumidor no puede detectar al ser ingeridos, en este sentido fue de vital importancia poner en evidencia el análisis proximal del pseudofruto de marañón completo, pulpa y cáscara, con la finalidad que puedan repercutir en la salud humana (Kothagoda y Rao, 2009).

De manera general, los resultados de la caracterización bromatológica y nutrimental nos muestran el valor nutritivo de esta fruta tropical, principalmente en el contenido de vitamina C, proteína y fibra cruda. Analizando el pseudofruto se observó que contiene cerca de 187 mg/100 g de vitamina C, 4 a 5 veces más de vitamina C que el zumo de naranja que contiene cerca de 32.8 mg/100 g (Behrens, 1996; Aparcida de Assis *et al.*, 2009).

Tabla 10. Características fisicoquímicas, proximales, microbiológicas y nutrimentales del pseudofruto fresco de marañón rojo (*Anacardium occidentale* L.) cosechado en el estado de Campeche

Parámetro	Marañón fresco
pH	3.73 ± 0.015
Acidez [†]	0.438 ± 0.005
°Brix [†]	11.33 ± 0.763
IM	25.86 ± 0
% Humedad	89.37 ± 0.14
L* cáscara	45.07 ± 3.87
L* pulpa	82.03 ± 2.21
b* cáscara	39.37 ± 5.81
b* pulpa	10.3 ± 1.81
a* cáscara	28.63 ± 4.51
a* pulpa	42.06 ± 2.62
Contenido energético (Kcal/100 g de muestra)	42.69 ± 0.6
Proteína (% en peso seco)	0.37 ± 0.18
Cenizas (% en peso seco)	0.23 ± 0.01
Grasas (% en peso seco)	0.23 ± 0
Fibra cruda (% en peso seco)	2.39 ± 0.1
Carbohidratos (% en peso seco)	9.68 ± 0.15
Azúcares reductores (% en peso seco)	5.67 ± 0.05
Vitamina C (mg/100 g de muestra)	181.20 ± 2.44
Mesofílicos aerobios UFC/g	<10
Coliformes totales UFC/g	<10
Hongos y levaduras UFC/g	<10

* g de ácido cítrico/ 100 g de muestra

[†]Sólidos solubles expresados como grados Brix

IM = Índice de Madurez

Es importante resaltar que la caracterización proximal y nutrimental del pseudofruto de marañón depende ampliamente de la zona geográfica de cultivo. Sin embargo, queda en evidencia las elevadas concentraciones de vitamina C en el pseudofruto de marañón. Tal es el caso del estudio realizado en la composición mineral y proximal del pseudofruto de marañón cosechado en tres regiones de Ghana, África (Lowor y Agyente-Badu 2009), los autores reportan concentraciones de hasta 252.40 mg/100 ml de vitamina C en jugo de pseudofruto de marañón variedad roja. Así mismo, los resultados presentados por Aparecida de Assis *et al.*, 2009; reportan concentraciones de 193.31 mg/100 g de vitamina C para marañón cosechado en Brasil.

La determinación de los microorganismos en los alimentos cada día es más importante, debido a que alteran los componentes de éstos, de forma que los desestabilizan permitiendo una menor duración y aceptabilidad. Desde el punto de vista sanitario, los alimentos pueden ser vehículos de microorganismos patógenos o de intoxicaciones graves (ingestión de toxinas producidas por microorganismos), así como de microorganismos que deterioran el producto. Es importante considerar que el pseudofruto de marañón, dado al gran contenido de humedad (89%), y considerable porcentaje en carbohidratos (9.6%), puede ser susceptible al ataque de microorganismos (bacterias, hongos o levaduras), los cuales puedan afectar la calidad microbiológica. Los resultados de la calidad microbiológica en muestras de pseudofruto de marañón fresco se presentan en la Tabla 10. Se aprecia que la carga microbiana para el pseudofruto de marañón evaluado fue despreciable, por lo que puede ser considerado como un alimento seguro para el consumo humano.

De esta manera, la valoración fisicoquímica, proximal y microbiológica de pseudofruto fresco incrementará una alternativa para elevar el valor agregado en la pulpa de marañón con la finalidad de disminuir las pérdidas de frutos en la cosecha y adicionalmente la harina podría ser usada como aditivo alimenticio para la elaboración de alimentos funcionales (Cavalcante *et al.*, 2003; Sindoni *et al.*, 2008; Athayde

Uchoa *et al.*, 2009). Es importante destacar que la valoración tecnológica de estos desechos agroindustriales, mediante el uso apropiado, podría resolver uno de los problemas más comunes en la industria del marañón.

3.4. CONCLUSIONES

La actividad agroindustrial y alimentaria es una fuente importante de subproductos, los cuales generan un problema medioambiental y de costos para las empresas productoras. En este sentido, existe una amplia cantidad de estudios que evalúan las propiedades saludables y funcionales de los subproductos frutícolas; y los compuestos de alto valor nutricional que se encuentran en ellos, como vitaminas, minerales, fibra, ácidos grasos esenciales y antioxidantes, entre otros. En el caso de las frutas tropicales, se ha observado la importancia en los beneficios que proveen estos productos con aplicación en la industria alimentaria y es por ello que existen diversos estudios que sustentan la importancia que tiene el aprovechamiento de los subproductos de papaya, mango y marañón, como fuente de compuestos bioactivos, de interés agroalimentario y biotecnológico. De acuerdo con lo anterior, la apuesta por alternativas, como el aprovechamiento de subproductos agroalimentarios, puede conducir a múltiples beneficios destacándose los ecológicos, económicos y a la salud.

3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adebiyi A and Adaikan P (2005). "Modulation of jejunal contractions by extract of *Carica papaya* L. seeds". *Phytotherapy Res* 19:628-632.
- Alzamora SM, Cerruti P, Guerrero S, López-Malo A (1995). "Minimally processed fruits by combined methods". In: Barbosa-Canovas GV and Chanes W Eds. *Food Preservation by Moisture Control Fundamentals and Applications*. Technomic Lancaster, PA, pp. 463-492.
- AOAC (1997). *Official Methods of Analysis*. 14th edn. Washington D.C: Association of Official Analytical Chemists.
- Aparecida de Assis S, Rebuglio JC, Brunetti IL, Khalil NM, Cerqueira KM, Mascarenhas AM (2009). "Antioxidant activity, ascorbic acid and total phenol of exotic

- fruits occurring in Brazil". *Int J Food Sci Nutr*. 60(5):439-448.
- Assuncao RB, Mercadante AZ (2003). "Carotenoids and ascorbic acid from cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) variety and geographic effects". *Food Chem*, 81(4):495-502.
- Athayde Uchoa AM, Correia da Costa JM, Arraes Maia G, Ribeiro Meira T, Machado Sousa PH, Montenegro Brasil I (2009). "Formulation and Physicochemical and Sensorial Evaluation of Biscuit-Type Cookies Supplemented with Fruit Powders". *Plant Foods Hum Nutr*. 64:153-159.
- Azarkan M, El Moussau A, Van Wuytswinkel D, Dehon G and Looze Y (2003). "Fractionation and purification of the enzymes stored in the latex of *Carica papaya*". *J Chromat B*. 790, 229-238.
- Azarkan M, Wintenjs R, Looze Y and Baeyens-Volant D (2004). "Detection of the three wound-induced proteins in papaya latex". *Phytochem*. 65: 525-534.
- Badui S (2006). *Aditivos. Química de los Alimentos*. México. Pearson 4ta. Ed. pp. 507-563.
- Barbosa-Cánovas G, Pothkamury UR, Palou E, Swanson BG (1998). *Conservación no térmica de alimentos*. España, Acribia. pp. 217-238:239-272.
- Barret D (2007). "Maximizing the Nutritional Value of Fruits and Vegetables". *Food Tech*. 61(4):40-44.
- Bautista-Baños S, Barrera-Necha LL, Bravo-Luna L *et al.* (2002). "Antifungal activity of leaf and stem extracts from various plant species on the incidence of *Colletotrichum gloeosporoides* of papaya and mango fruit after storage". *Rev Mex Fitopatol* 20:8-12.
- Bautista-Baños S, García-Domínguez E, Barrera-Necha LL *et al.* (2003). "Seasonal evaluation of the postharvest fungicidal activity of powders and extracts of huamuchil (*Pithecellobium dulce*): action against *Botrytis cinerea*, *Penicillium digitatum* and *Rhizopus stolonifer*". *Postharvest Biol Technol* 92:81-92.
- Behrens R (1996). *Cashew as an Agroforestry Crop: Prospects and Potentials*. Margraf Verlag.
- Cadena Agroalimentaria del Mango (2003). *Elaboración del Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia Tecnológica del Estado de Guerrero*. Red para el Desarrollo Sostenible de México, A.C. 213 pp.
- Cavalcante AM, Rubensam G, Picada JN, Silva EG, Moreira JCF, Henriques JAP (2003). "Mutagenicity, Antioxidant Potential, and Antimutagenic Activity Against Hydrogen Peroxide of Cashew (*Anacardium occidentale*) Apple Juice and Cajúna". *Environ Mol Mutagen*. 41:360-369.
- Chávez-Quintal P, González-Flores T, Rodríguez-Buenfil I y Gallegos-Tintoré S (2011). "Antifungal activity in ethanolic extracts of *Carica papaya* L. cv. Maradol leaves and seeds". *Indian J Microbiol* 51(1):54-60 DOI 10.1007/s12088-011-0086-5.
- Diagnóstico del Sistema Producto Mango (2003). *Promotora de Servicios Comerciales del Estado de Campeche*. Gobierno del Estado de Campeche.
- Doughari JH, Elmahmood AM, Manzara S (2007). "Studies on the antibacterial activity of root extracts of *Carica papaya* L". *Afr J Microbiol Res* 1:37-41.

- Dziezak DJ (1986). "Preservatives: Antioxidants". *Food Tech.* September 94-102.
- Emeruwa AC (1982) "Antibacterial Substance from *Carica papaya* fruit extract". *J Nat Prod* 2:123-127.
- FAO, Food and Agriculture Organization (2010). FAOSTAT, papayas. <http://faostat.fao.org/> (Consultado Abril 2012).
- FAO, Food and Agriculture Organization (2010). FAOSTAT Database collections, agricultural data, food and agriculture organization of the United Nations. Available from: <<http://faostat.fao.org>>.
- Galindo-Estrella TR, Hernández-Gutiérrez R, Mateos-Díaz JC, Sandoval-Fabián G, Chel-Guerrero LA, Rodríguez-Buenfil I y Gallegos-Tintoré S (2009). "Proteolytic activity in enzymatic extracts from *Carica papaya* L. cv. Maradol harvest by-products". *Process Biochem.* 44(1):77-82.
- Gallegos S, Chávez P, Rodríguez-Buenfil I y González T (2008). "Evaluación de la actividad fungicida de los extractos obtenidos de subproductos de papaya maradol (*Carica papaya* L)". En: Memorias en extenso de la V Reunión Estatal de Investigación, Agropecuaria, Forestal y Pesca. 21 al 23 de enero de 2008. Mérida, Yucatán. Fundación Produce Yucatán.
- Gallegos-Tintoré S, Rodríguez-Casanova JL, Mateos-Díaz JC (2009). "Los subproductos de cosecha de papaya maradol". *Revista Desafío*, Fundación Produce Yucatán. Marzo, 2009.
- Glibota GS, Garro OA y Judis MA (2000). Actividad proteolítica de restos del fruto de *Carica papaya*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. FAO, pp. 1-4.
- Gonzalez E, Montenegro MA, Nazareno MA, Lopez de Mishima BA (2001). "Carotenoid composition and vitamin A value of an argentinian squash (*Cucurbita moschata*)". *Arch. Lat. Nut.* 51(4):395-399.
- Hui YH, Barta J, Cano MP, Gusek T, Sidhu JS, Sinha N (eds) 2006. *Handbook of fruits and fruits processing*. Editorial Blackwell publishing, USA.
- Kothagoda N, Rao AN (2009). "Medicinal uses and Fruit Development of Ten Tropical Fruit Species". *J. Trop. Med. Plants.* 10(2):231-247.
- Lowor ST, Agyente-Badu CK (2009). "Mineral and proximate composition of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) juice from northern Savannah, forest and costal Savannah regions in Ghana". *American Journal of Food Technology* 4(4):154-162.
- Mandujano BRA (1998). El papayo y su producción en México. En: XI Curso Internacional de Actualización; Fruticultura Avanzada; Manejo y Exportación. Ixtapan de la Sal, México. Fundación Salvador Sánchez Colín. CICTAMEX, S. C. pp. 86-106.
- Monti R, Basilio CA, Trevison HC and Contiero J (2000). "Purification of papain from Fresh Latex of *Carica papaya*". *Braz J Med Biol Resh.* 5 (43): 501-507.
- Moreno Caamal VM (2010). Producción frutícola en el estado de Yucatán. Logros y acciones para incrementar la productividad de la Sapotácea. *Revista Info-campo*. Gaceta Rural de Yucatán. 4(22): 7-10.

- Norma Oficial Mexicana NOM-130-SSA1-1995. Bienes y Servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
- Pérez Miranda L y Zapata Cahuich R (2009). Impacto económico de la producción de papaya maradol en Yucatán. Centro de Investigación Regional del Sureste.
- Reyes N, Rivas-Ruiz I, Domínguez-Espinosa R, Solís S (2006). "Influence of immobilization parameters on endopolygalacturonase productivity by hybrid *Aspergillus* HL entrapped in calcium". *Biochemical Engineering Journal*. 32: 43-48.
- Rocha Ribeiro R, De Queiroz J, Riberiro de Queiroz LM, Campos F, Santana M (2007). "Antioxidant in Mango (*Mangifera indica* L.) pulp". *Plant Foods Human Nutr*. 62:13-17.
- Sagarpa (2009). Estudio de oportunidades de mercado e inteligencia comercial internacional de la papaya mexicana e identificación de necesidades de infraestructura logística. PROPAPAYA. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/PAPAYA2009.pdf, consultado en abril de 2012.
- Sakho M, Chassagne D, Jaus A, Chiarazzo E, Coruzet J (1998). "Enzymatic Maceration: Effects on Volatile Components of Mango Pulp". *J Food Sci*. 63(6): 9758-978.
- SIAP (2010). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de Siembras y Cosechas. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 consultado abril 2012.
- Sindoni M, Marcano L, Parra R (2008). "Estudios de aceptación de harinas derivadas de mery para la elaboración de panes". *Agronomía Trop*. 58(1):11-16.
- Schols HA, Voragen AGJ (1996). "Complex pectins: structure elucidation using enzymes". In: Visser J, Voragen A G J, Eds. *Pectins and Pectinases. Progress in Biotechnology*. Netherlands, Elsevier Science B,V, V. 14, pp. 3-19.
- Sousa de Brito E, Pessanha de Araújo MC, Lin LZ, Harnly J (2007). "Determination of the flavonoid components of cashew apple (*Anacardium occidentale*) by LC-DAD-ESI/MS". *Food Chem*. 105(3):1112-1118.
- Trevisan MTS, Pfundstein B, Haubner R, Wurtele G, Spiegelhalder B, Bartsch H, Owen RW (2006). "Characterization of alkyl phenols in cashew (*Anacardium occidentale*) products and assay of their antioxidant capacity". *Food and Chemical Toxicology* 44, 188-197.

LA MIEL: INOCUIDAD, CALIDAD Y APLICACIONES

Pacheco López NA, Sánchez Contreras A,
Rodríguez Buenfil I

npacheco@ciatej.net.mx; irodriguez@ciatej.net.mx

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad Sureste,
calle 30 Núm. 151, interior Canacinttra por 7 y 7 A,
Col. García Ginerés, Mérida, Yucatán, CP 97070*

4.1. RESUMEN

México es uno de los principales países exportadores de miel en el mundo, por lo que la apicultura es una práctica que genera importantes beneficios a la agricultura y al ambiente. Al ser un alimento energético, la miel se ha usado desde hace siglos como ingrediente en diversos alimentos ya que posee un mayor poder edulcorante que el azúcar. A la miel se le han atribuido diversas propiedades terapéuticas debido a la presencia de algunos compuestos fitoquímicos, así como propiedades antimicrobianas que dependen de las características de la miel, las cuales varían de acuerdo con la fuente botánica, clima y región de donde fue producida.

Durante su extracción y procesamiento, la miel está propensa a contaminación, lo que no sólo disminuye su calidad sino también representa un peligro potencial para la salud de los consumidores. El estudio de la calidad de la miel, así como de sus posibles aplicaciones,

representa un beneficio para la región de la península de Yucatán al ser una de las principales zonas productoras de miel en México.

Palabras clave: Miel, Inocuidad, Calidad, Bebidas, Agente antimicrobiano

4.2. INTRODUCCIÓN

La importancia y uso de la miel en varias áreas de la vida diaria ha sido apreciada por siglos y existen diversas referencias históricas a esta sustancia; así por ejemplo, los antiguos egipcios y los griegos se referían a la miel como un producto sagrado. En América Latina, antes de que se cultivara la caña de azúcar, el edulcorante más usado era la miel y el sureste de México era uno de los principales productores. En la definición establecida por el Codex alimentarius se entiende por miel:

La sustancia natural dulce producida por abejas *Apis mellifera* a partir del néctar de plantas, o de secreciones de partes vivas de éstas, o de excreciones de insectos succionadores de plantas que quedan sobre partes vivas de las mismas y que las abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias, y depositan, deshidratan, almacenan y dejan en el panal para que madure y añeje.¹

La elaboración de la miel es un proceso laborioso y ordenado, la abeja produce la miel a partir del néctar de las flores, el néctar es ingerido y se mezcla con enzimas de la saliva que, junto con las presentes en el néctar floral, hidrolizan la sacarosa en fructosa y glucosa, principales azúcares contenidos en la miel. Cuando la abeja regresa a la colmena regurgita la carga de néctar que posteriormente se deshidrata a una concentración de agua de 14 a 25%, aumentando la concentración de azúcar a 70-80% y modificando su espectro de azúcares por la acción enzimática. Finalmente, la abeja recubre la celdilla con miel ya madurada (Figura 1).

¹ CODEXSTAN 12-1981, Rev. 1997.



Figura 1. Producción de miel y diversas especies florales del sureste de México

Además de los azúcares, la miel contiene pequeñas cantidades de una gran variedad de vitaminas, minerales, aminoácidos, proteínas, pigmentos antioxidantes y enzimas (Sáenz y Gómez, 2000). La miel presenta características físicas, fisicoquímicas y organolépticas diversas como: densidad, cristalización, higroscopicidad, acidez, olor, sabor, color, etc. Estas características están asociadas con su origen geográfico y botánico, así como a condiciones climáticas que determinan las propiedades de la floración existente (Kahraman *et al.*, 2010; Sing y Bath, 1997) (Figura 1).

4.2.1. Importancia de la miel y la apicultura en México

El consumo mundial de la miel se ha incrementado en los últimos años debido a la tendencia por adquirir productos de origen natural que no contengan sustancias químicas. La apicultura en México es una actividad que produce importantes beneficios a la agricultura y al ambiente, además de que representa una importante actividad económica al generar empleos y ser la segunda fuente captadora de divisas en el sector ganadero. México se encuentra dentro de los tres primeros países productores y exportadores de miel a escala mundial, por debajo de China y Argentina, además participa con 10% del total de miel comercializada en el mercado internacional al año, siendo la península de Yucatán la principal región productora y cuya miel es exportada tanto a países de la Unión Europea (Alemania y Reino Unido) como a Estados Unidos de América (INEGI, 2004).

La apicultura en Campeche, al ser una actividad compatible prácticamente con todo tipo de ecosistema, presenta un potencial de crecimiento promisorio para la economía del estado. Actualmente, esta actividad se conforma con la participación de 84 grupos de apicultores y 4,600 apicultores independientes, quienes reportan en total 207,000 colmenas y en conjunto logran una producción anual de 6,976 toneladas de miel de abeja (*Apis mellifera*) (Sagarpa, 2010). Existen estudios fenológicos de la región de Campeche, específicamente de la zona de montaña de Calakmul, en los que se establece una relación entre la distribución, tipo de especies florales (melíferas y/o poliníferas) y el ciclo apícola. De acuerdo con esto, se ha establecido que son más de 100 especies de plantas las que son aprovechadas por las abejas para la producción de miel, de entre las cuales se han identificado hasta 67 géneros y 31 familias diferentes (Porter, 2003) (Figura 2).

4.2.2. Propiedades y aplicaciones

Al ser un alimento energético muy importante, la miel se ha usado como ingrediente en diversos alimentos ya que posee un poder



Figura 2. Especies florales del estado de Campeche

edulcorante mayor que el azúcar (Kahraman *et al.*, 2010). Tradicionalmente, se le han atribuido propiedades terapéuticas y funcionales, las cuales han sido ampliamente estudiadas y se han establecido como factores responsables el pH, contenido de azúcar, actividad de agua (AW), contenido de peróxido de hidrógeno, así como la presencia de algunos compuestos fitoquímicos. Dentro de los compuestos responsables de reducir las reacciones oxidativas se encuentran: compuestos fenólicos, flavonoides, algunas enzimas, ácido ascórbico, proteínas y carotenoides (Álvarez-Suárez *et al.*, 2010).

Varios investigadores han reportado la actividad antimicrobiana de la miel contra una amplia gama de bacterias patogénicas y de descomposición de alimentos (Mandal y Mandal, 2011), dentro de las que destacan *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*

enterica, entre otras (Mandal *et al.*, 2010). La actividad antimicrobiana se ha explicado por alguno de los efectos que se mencionan a continuación: a) Efecto osmótico, el cual es producido por la alta concentración de azúcares en la miel dejando muy poca disponibilidad de agua en las moléculas, evitando el desarrollo de microorganismos. b) Efecto producido por la acidez de la miel, lo que inhibe el crecimiento de diversos patógenos presentes en animales. c) Efecto debido al contenido de peróxido de hidrógeno, que es producido por la enzima glucosa oxidasa secretada por la abeja, proporcionando un efecto esterilizante durante la maduración de la miel. d) Efecto relacionado con la presencia de fitoquímicos tales como: pinocebrina, terpenos, alcoholes bencílicos, ácido siríngico, siringato de metilo, ácido 3,4,5-trimetoxibenzoico, ácido 2-hidroxibenzoico y 1,4-dihidroxibenceno, los cuales siguen todavía en estudio (Isla *et al.*, 2011; Mandal y Mandal, 2011). Estos factores pueden actuar de manera individual en las diferentes etapas de producción y extracción de la miel, y/o presentar algún efecto sinérgico (Isla *et al.*, 2011; Mandal y Mandal, 2011).

El uso de la miel y los subproductos derivados de su obtención tales como la cera, el propóleo, el polen, la jalea real y el veneno de abeja, son muy diversos y numerosos, algunos de ellos conocidos desde miles de años atrás, otros han sido investigados y desarrollados recientemente. La aplicación de los productos derivados de la colmena dependen de sus propiedades nutricionales y terapéuticas; generalmente, se aplican en la industria alimenticia, farmacéutica y en cosmetología. Sin embargo, en muchas ocasiones su aplicación es aún muy tradicional. La Tabla 1 muestra las principales aplicaciones de la miel y otros derivados de la colmena.

El hidromiel, aguamiel, o vino de miel, se obtiene básicamente por fermentación de la mezcla de miel con agua, o de mosto con miel, y contiene alrededor de 8 a 18% (v/v) de alcohol. La producción de esta bebida tradicional sigue siendo un proceso empírico y manual, donde la velocidad de fermentación depende de varios factores como: tipo de miel, cepa de la levadura, cantidad de nutrientes y pH (Ramalhosa *et al.*, 2011). El desarrollo de la biotecnología en el

Tabla 1. Principales aplicaciones de la miel y derivados de la colmena

Producto de la colmena	Industria en la que se aplica	Ejemplo de usos
Miel, propóleo	Alimentos	Elaboración de caramelos, hidromiel, productos multivitamínicos, edulcorante y saborizante
	Cosméticos	Aditivo en crema hidratante, champú, jabones, mascarillas
	Farmacia	Tintura de propóleo, usado en heridas leves como cicatrizante y antiinflamatorio
Jalea real	Cosméticos	Champú, jabones y tratamientos faciales
Cera	Otros	Conservante e impermeabilizante de maderas, papeles, telas y cueros

estudio de las características biológicas y bioquímicas de numerosos microorganismos capaces de llevar a cabo transformaciones de algunas sustancias en productos deseados, ha sido una herramienta muy útil para el mejoramiento de procesos de fermentación de productos tradicionales.

Los componentes que excretan las levaduras durante la fermentación en la preparación de bebidas alcohólicas afectan directamente la calidad del producto, la mayoría de los compuestos que se producen se encuentran en concentraciones muy bajas, sin embargo, las reacciones químicas y bioquímicas que generan son muy complejas y afectan la calidad sensorial del producto. En las bebidas alcohólicas los principales compuestos encontrados relacionados con el aroma son acetales, ácidos, alcoholes, ésteres, éteres, furanos, cetonas, fenoles, pirazinas, componentes con sulfuro y terpenos que se producen en pasos previos o posteriores a la fermentación (Kahoun *et al.*, 2008; Dragone *et al.*, 2009).

4.2.3. Calidad e inocuidad de la miel

La calidad de la miel está determinada principalmente por sus características sensoriales, químicas, físicas y microbiológicas. Los lineamientos internacionales referentes a la calidad de la miel se encuentran descritos en: El Codex Alimentarius (CODEX STAN 12, 1981) y la comisión del Codex Alimentarius FAO-OMS (CODEX STAN 1, 1985). En México se cuenta con la norma NMX-F-036-2006-NORMEX específica para miel. Dentro de los criterios de interés descritos en los documentos mencionados están: contenido de humedad, contenido de ceniza, azúcares reductores y no reductores, acidez libre, conductividad eléctrica, actividad de diastasa y contenido de hidroximetilfurfural (HMF). En la Tabla 2 se observan los parámetros generales de calidad aceptados en estas normas nacionales e internacionales, así como las características indicativas de calidad.

La miel, como la mayoría de los alimentos, es sometida a tratamientos tecnológicos y de almacenamiento y las condiciones de estos procesos repercuten directamente sobre su calidad, fisicoquímica, sensorial y microbiológica. La miel se puede exponer a temperaturas moderadamente altas por periodos cortos de tiempo sin mayor deterioro de su calidad; además, si es almacenada adecuadamente permanece prácticamente inalterada por largos periodos de tiempo. Sin embargo, los pequeños daños producidos por calor son acumulativos, lo que implica que las exposiciones de la miel al calor deben ser limitadas, además de que la resistencia al calor está influenciada por el origen botánico de la misma (Karabournioti y Zervalaki, 2001). Los parámetros de calidad establecidos por las normas nacionales e internacionales también permiten detectar adulteraciones en la miel, como adición de harinas, melaza, azúcar de caña y agua.

Durante su extracción y procesamiento, la miel es propensa a sufrir contaminación física, química o microbiológica. El uso de antibióticos para evitar o controlar enfermedades en las abejas, genera distintos grados de contaminación en la miel, así como el uso descontrolado de pesticidas que pueden llegar a contaminar el néctar de

las flores. Adicionalmente, existen compuestos como los Alcaloides Pirrolizidínicos (PAs), que son metabolitos secundarios de plantas que causan daños hepáticos, genotóxicos y tumorigénicos en humanos. Generalmente, la intoxicación debida a los PAS es causada por la ingesta de plantas que los contengan, ya sea utilizadas como remedios medicinales, o por el consumo de cereales y forrajes que han sido contaminados con hierbas productoras de PAs. Asimismo, existen reportes de intoxicaciones a través de productos animales, como la leche e incluso la miel. Dentro de las especies de plantas que más frecuentemente han sido implicadas en envenenamientos por PAs, se encuentran la familia de las Boraginaceae, Compositae y Leguminosae, éstas contienen más de 100 alcaloides pirrolizidínicos, potencialmente hepatotóxicos.

Tabla 2. Criterios de calidad establecidos por normas nacionales e internacionales y su efecto en la calidad de la miel

Parámetro	Límite permitido		Característica o indicador de calidad
	NMX-F-036-2006 NORMEX	CODEX STAN 1-1985	
Contenido de azúcar reductor expresado como % (g/100 g de azúcar)	63.88 (mínima)	65 (mínima)	Niveles inferiores son indicativos de adulteración con agua, harinas o falta de madurez de la miel. Niveles superiores de sacarosa son indicativos de adición de melaza o de azúcar
Contenido de sacarosa % (g/100 g)	5.00 (máxima)	5.00 (máxima)	
Contenido de glucosa % (g/100 g)	38.00 (máxima)	-	
Contenido de glucosa y fructosa % (g/100 g)	-	60 (mínimo)	

Continuación...

Humedad % (g/100 g)	20.00 (máxima)	20.00 (máximo)	Niveles mayores de humedad indican adulteración con agua o miel cosechada antes de madurar, además de favorecer la proliferación de microorganismos
Sólidos insolubles en agua % (g/100 g)	0.30 (máxima)	Miel prensada: 0.5 (máximo). No prensada: 0.1 (máximo)	Niveles mayores son indicativos de contaminación externa
Cenizas % (g/100 g)	0.60 (máxima)		Niveles mayores, son indicativos de contaminación
Acidez expresada como miliequivalentes de ácido/kg	40.00 (máxima)	50 (máximo)	Indicador de frescura relacionado con la fermentación de los azúcares. Además, es indicativo de sobrecalentamiento de la miel
Hidroximetilfurfural (HMF), expresado en mg/kg en miel envasada de más de 6 meses	80.00 (máxima)	40 (máximo) 80 ¹ (máximo)	Compuesto formado por la degradación de los compuestos azucarados, y es indicativo de uso de altas temperaturas por periodos largos de tiempo o mieles almacenadas por mucho tiempo
Hidroximetilfurfural (HMF), expresado en mg/kg en miel envasada de menos de 6 meses	40.00 (máxima)	-	

Continuación...

Índice de diastasa	8.0 ² (mínimo)	3.0 (mínimo)	Niveles bajos indican almacenamiento prolongado y/o uso de altas temperaturas
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0.8	0.8	Indicativo indirecto del contenido de minerales

¹Miel proveniente de regiones de temperatura ambiente tropical. ²Para las mieles con bajo contenido enzimático, el índice mínimo de diastasa en la escala de Gothe será de 3.0, siempre y cuando no exceda en el contenido en HMF de 15 mg/kg.

La presencia de contaminantes en la miel representa un peligro potencial para la salud de los consumidores, debido a la aparición de reacciones alérgicas, desarrollo de resistencias bacterianas y modificaciones en la flora intestinal. Por el riesgo para la salud humana y por los posibles efectos tóxicos que supone la presencia de residuos en la miel, la búsqueda por mejorar la calidad de la miel ha llevado al desarrollo de diversas investigaciones en el CIATEJ, las cuales se describen en la siguiente sección.

4.3. INVESTIGACIONES REALIZADAS

4.3.1. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA MIEL

Los consumidores de países industrializados muestran una creciente preocupación por la calidad e inocuidad de los alimentos que consumen. En el caso de la miel, las exigencias sobre su calidad e inocuidad se centran en la garantía de que el producto esté libre de contaminación de químicos provenientes de residuos de medicamentos usados en el control de enfermedades de las abejas y/o de agroquímicos utilizados en la agricultura. A los anteriores se agrega la importancia de la autenticidad del producto y la ausencia de contaminación microbiológica (Bogdanov y Martin, 2002). Al representar México uno de

los principales exportadores de miel, la presencia de contaminantes en este producto reduce la calidad del mismo y como consecuencia su entrada a mercados internacionales, aumentando la preocupación de industriales de la miel en mantener la calidad.

Desde la fundación de la Unidad Sureste del CIATEJ se han venido desarrollando investigaciones en torno de la miel, debido a la importancia que tiene este producto en la península de Yucatán. En 2002 se sometieron dos proyectos en busca de fondos para la investigación sobre inocuidad y contaminación en miel; si bien no se logró el resultado esperado, esto sirvió para entrar en contacto con empresas interesadas en resolver problemas específicos de este producto. En 2003 se realizó una primera asesoría técnica sobre la reducción de algunos compuestos que afectan la calidad de la miel de abeja, donde la experiencia de la institución en bioprocesos y procesos de separación permitió la aplicación de técnicas basadas en cromatografía, que se han aplicado en otras áreas de la industria alimenticia con el fin de disminuir algunos de estos compuestos y, en consecuencia, aumentar la calidad de la miel. Dentro de las metodologías propuestas para la solución del problema se encontraron el uso de sistemas en lote, sistemas con agitación y sistemas de filtración en columna. Las principales variables evaluadas fueron: tipo de resina, tamaño de partícula de la resina, tiempo de contacto con el producto y temperaturas de proceso. Después de obtener las mejores condiciones a escala laboratorio para la eliminación de hasta un 90% de los compuestos reductores de la calidad analizados en un sistema en lote, se realizaron exitosamente experimentos a mayor escala, obteniendo un producto final con las características y especificaciones establecidas por normas nacionales e internacionales, manteniendo los estándares para su exportación.

Derivado de los resultados obtenidos anteriormente, en 2004 se firmó otro convenio de asesoría técnica con industriales, buscando la eliminación de otro tipo de compuestos que de igual forma reducen la calidad de la miel; además, se realizó una propuesta de diseño de un sistema de filtración. La investigación desarrollada se basó en el uso de diferentes resinas dentro del sistema de filtración propuesto,

con el fin de facilitar el proceso e incrementar la calidad de la miel. Dentro de las variables evaluadas se encontraban: tipo de resina, altura de lecho, temperatura, flujo de la columna y pasos por columna. Los resultados fueron satisfactorios, reduciendo los niveles del compuesto que afectaba la calidad de la miel hasta en 67%, usando el sistema de filtración desarrollado, calentando ligeramente y llevando a cabo el proceso en dos pasos. Al comparar con sistemas en lote no existió diferencia significativa ($p \leq 0.5$). Al realizar experimentos a menor temperatura se logró la remoción de 10% del compuesto que reduce la calidad. De igual forma, se planteó el diseño de un equipo para ser utilizado a escala industrial, proponiendo los parámetros adecuados de escalamiento.

Derivado de estos trabajos se sometió la patente YU/a/2004/000006, en mayo de 2004 y se obtuvo el Título de Patente Núm. 266829 el 17 de abril de 2009.

4.3.2. Elaboración de un vino a partir de miel de abeja

A principios de 2003, productores de miel del estado de Yucatán en conjunto con la Unidad Sureste del CIATEJ acordaron firmar un convenio para desarrollar una bebida alcohólica a partir de miel de abeja, al ser éste uno de los principales productos de la región. El proyecto se llevó a cabo en tres etapas que se resumen a continuación.

Debido a que la levadura juega un papel fundamental en cualquier proceso fermentativo, puesto que de ella depende no sólo la conversión del sustrato a producto sino en gran medida la calidad final del mismo, en la primera etapa del proyecto se llevó a cabo la selección de la cepa. Diferentes mieles provenientes de la península de Yucatán, en su mayoría del estado de Yucatán, fueron evaluadas para aislar cepas silvestres de la materia prima, con el fin de seleccionar la cepa que presentara los mejores parámetros de crecimiento, además la cepa elegida sería comparada con una cepa comercial. También se formuló un medio de cultivo para desarrollar la levadura y evaluar la producción de alcohol de la misma. El aislamiento se llevó a cabo

mediante resiembras sucesivas a partir de una sola colonia identificándolas macro y microscópicamente.

En la preselección se llevaron a cabo fermentaciones que permitieron conocer los parámetros cinéticos de fermentación de los microorganismos para descartar levaduras con similitudes morfológicas y fermentativas, y los parámetros de selección fueron: rendimiento de fermentación, producción de alcohol y eficiencia de fermentación. Las cinéticas de crecimiento durante el periodo de preselección mostraron una máxima producción de 12 g/L de alcohol con eficiencias de 20 a 70%. En las etapas de selección se alcanzó la producción de hasta 18.82 g/L de alcohol con eficiencias de hasta 70%, cabe destacar que las cepas aisladas superaron los valores obtenidos con la cepa comercial.

En la etapa de preselección de la cepa, se utilizó un medio de cultivo a base de miel de abeja, utilizando temperatura, agitación y tiempos determinados. Posteriormente, para la propagación de las levaduras se formularon medios de cultivo a partir de miel de abeja adicionados con sales minerales usados para la propagación, en los que al enriquecer el medio con nutrientes se logró un aumento importante en el crecimiento celular previo a la fermentación. Al evaluar los medios formulados en la fermentación con las levaduras preseleccionadas y una cepa silvestre aislada de tequila, el porcentaje de alcohol producido en medio simple fue alrededor de 30% durante los primeros cuatro días de fermentación, mientras que usando medios enriquecidos se alcanzó hasta 40% durante los primeros tres días. Después de estos experimentos se seleccionaron dos cepas con las que se establecieron las condiciones de temperatura, agitación y tiempo adecuados de fermentación.

Durante la segunda etapa del proyecto, realizada en 2005, se determinó el perfil de compuestos organolépticos producidos durante la fermentación por las dos levaduras seleccionadas. Se emplearon diversas condiciones de fermentación para obtener productos con características organolépticas diferentes, los productos obtenidos se destilaron y se compararon sus características organolépticas. Posteriormente,

se establecieron condiciones de producción de la bebida y un esquema de proceso a nivel piloto, donde se determinó la osmotolerancia de las levaduras a diferentes concentraciones de azúcares, el perfil de compuestos organolépticos generados y evaluaciones sensoriales a muestras de licor fermentado con evaluadores semientrenados. Una vez determinado el esquema de proceso se realizaron pruebas piloto en tinajas de fermentación de 330 y 280 litros y se evaluaron diferentes tiempos de fermentación para determinar si las características organolépticas variaban. El análisis de calidad de las bebidas fermentadas de miel obtenidas incluyó la determinación tanto de metanol como de alcoholes superiores, encontrándose que ambos parámetros estaban conforme a lo establecido por la norma. Los resultados de las pruebas sensoriales indicaron que no hubo diferencias significativas por los tiempos de fermentación ni con las levaduras empleadas, sin embargo, la bebida que fue mayormente preferida fue descrita como con un sabor a cítrico, anís, floral-cítrico, dulce-amargo. La tolerancia al azúcar por la levadura fue de 12 a 20 °Brix, la cepa comercial usada como comparación presentó mayor tolerancia, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los medios o levaduras empleadas con respecto de la eficiencia de fermentación y porcentaje de azúcares aprovechados. Los compuestos volátiles detectados que presentan características organolépticas cuantificadas fueron: acetato de etilo, 1-propanol, isobutanol, 1-butanol, alcoholes amílicos. Por último, en la tercera etapa realizada en agosto de 2006 se estableció un sistema de propagación de la levadura para la producción de hidromiel a una escala de 2,000 litros.

4.3.3. Alcaloides en miel

Actualmente diversos grupos de investigación se enfocan en la caracterización de metabolitos secundarios de especies florales melíferas, que representan un riesgo potencial para la salud y como consecuencia a la inocuidad de la miel. En 2010 fue aprobado un proyecto de investigación enfocado a la determinación de alcaloides pirrolizidínicos en plantas melíferas del estado de Campeche. En esta investigación se tiene como principal objetivo determinar la ocurrencia

de Alcaloides Pirrolizidínicos (PAs) en las cargas del polen y néctar de plantas empleadas por las abejas para la obtención de la miel, con el fin de verificar el riesgo de contaminación de la miel producida en las diferentes zonas de Campeche. Los resultados de este estudio permitirán realizar un análisis de la ocurrencia de plantas melíferas y poliníferas que produzcan alcaloides pirrolizidínicos, así como realizar la evaluación de las mieles producidas a partir de estas especies, durante la temporada de mayor producción para Campeche, que va de enero a mayo. En este trabajo se pretende establecer una relación entre el contenido de alcaloides y el temporal de lluvias, debido a que existen reportes que indican que el alto contenido de alcaloides

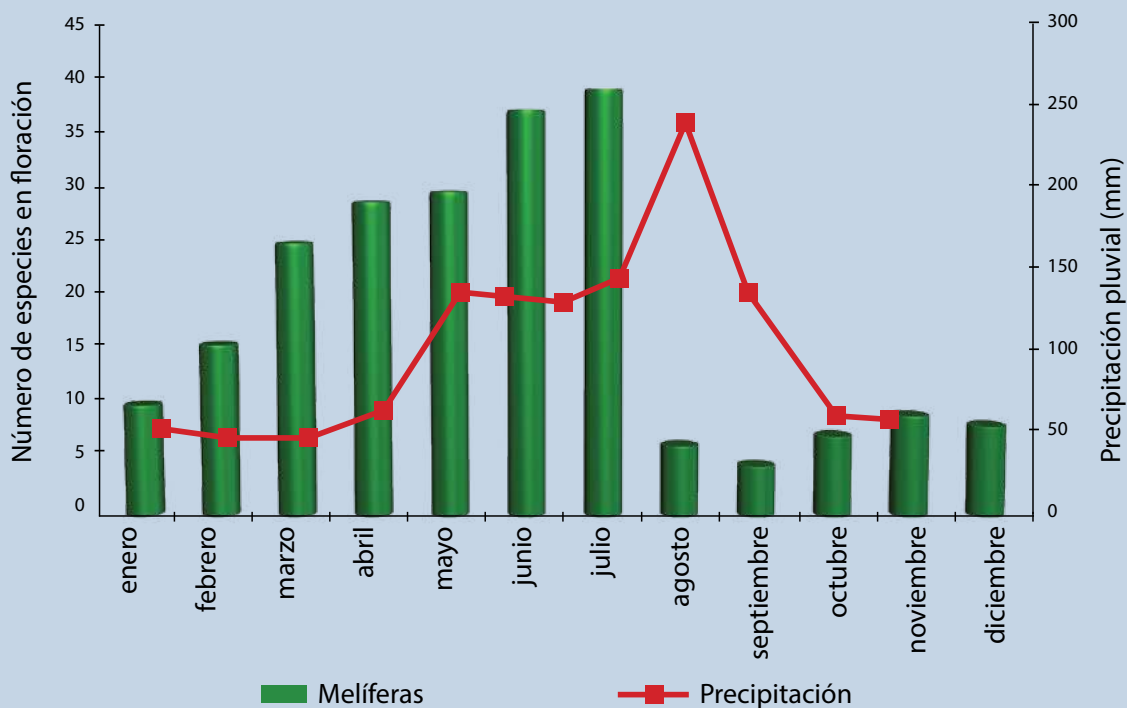


Figura 3. Especies florales y poliníferas en floración por época del año y temporal de lluvia

está relacionado con la época de sequía. En la Figura 3 se muestra el número de especies melíferas registradas, en relación con la época de lluvias.

Actualmente se cuenta con estudios que muestran el inventario florístico de casi toda la península de Yucatán, su gran diversidad vegetal y las zonas de su localización. Sin embargo, para que estos estudios puedan apoyar el desarrollo sustentable del estado, en cuanto a producción apícola se refiere, es necesario que se realicen inventarios florísticos, específicamente en las zonas melíferas del estado Campeche, y que estos listados de ubicación y descripción botánica estén relacionados con el contenido de metabolitos secundarios potencialmente dañinos, como son los PAs.

Hasta el momento, en un año de actividades se han realizado colectas de al menos 40 especies vegetales en zonas productoras de mieles de abeja en Campeche y se han analizado las muestras de polen y néctar de estas plantas en diferentes temporadas con el fin de verificar si existe una relación entre la concentración de alcaloides pirrolizidínicos en las plantas y la época de floración. Una vez que se detecten las especies poliníferas de la región con mayor contenido de alcaloides pirrolizidínicos se estará en condiciones de crear un listado que muestre la ubicación de los apiarios en riesgo de contaminación en relación con la distribución geográfica de las especies productoras de alcaloides. Adicionalmente, se ha iniciado con la colecta de muestras de miel tanto de apiarios como de centros de acopio y se trabaja en el montaje de una técnica analítica que permita detectar y cuantificar los alcaloides pirrolizidínicos presentes en estas mieles, y con apoyo en el uso de técnicas de melisopalinología se determinará el origen floral de las mieles contaminadas. En la Figura 4 se muestra la distribución de la producción anual de miel del estado de Campeche, en cada uno de sus municipios. Con estos datos se eligieron como zonas de mayor producción apícola del estado de Campeche los municipios de Campeche, Champotón, Escárcega, Hecelchakán y Hopelchén representados en la Figura 5, donde se registra la zona de muestreos realizados. En conjunto, los municipios seleccionados cubren 81% del total de la producción del estado de Campeche.

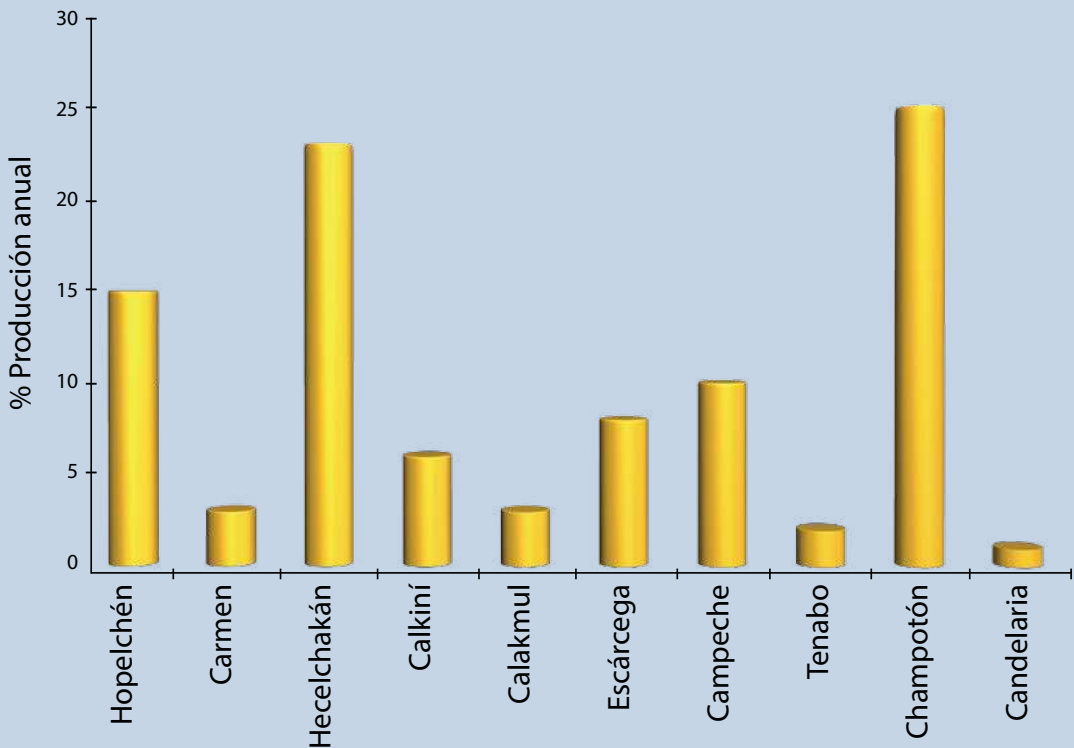


Figura 4. Producción de miel del estado de Campeche por municipio, elaborada con datos de Sagarpa, 2010

Existen reportes de que la miel que se recolecta en el estado de Campeche proviene principalmente de siete diferentes floraciones (Porter, 2003). En este sentido, para el estado es importante contar con registros recientes que permitan a sus productores apícolas valorizar su producción. En la Tabla 3 se resumen las principales especies de las familias Leguminosae, Boraginaceae, Compositae que fueron registradas por época del año en los municipios visitados como parte de las actividades de este proyecto.

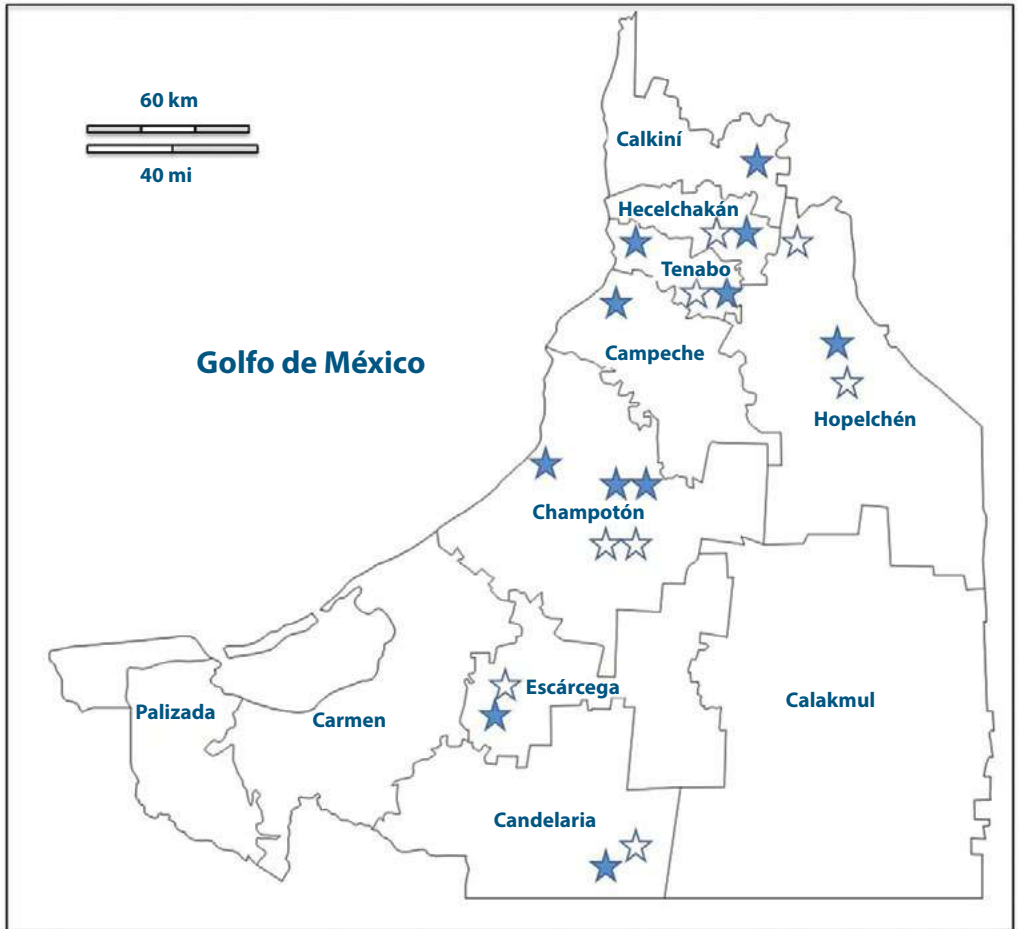


Figura 5. Zona de colecta de especies melíferas



-  40 especies vegetales con datos de ubicación Georreferenciada, colectadas en dos apiarios de cada uno de los diferentes municipios
-  133 muestras de miel con datos de rastreabilidad, proporcionadas por acopiadores con permiso de exportación a la Unión Europea.

Tabla 3. Especies melíferas (nombre común) ubicadas en los sitios de colecta, pertenecientes a las familias consideradas de riesgo por su posible producción de alcaloides

Mes	Familia		
	Leguminosae	Boraginaceae	Compositae
Enero	<i>Caesalpinia gaumeri</i> (Kitiinche), <i>Haematoxylum</i> (Chak tinto)	<i>Crescentia cujete</i> (Was)	<i>Viguiera dentata</i> (Tahonal)
Febrero	<i>Caesalpinia yucatanensis</i> (TaaK'inche'), <i>Gliricidia sepium</i> (BalcheKej), <i>Platymiscium yucatanum</i> (Granadillo)	<i>Crescentia cujete</i> (Was)	<i>Viguiera dentata</i> (Tahonal)
Marzo	<i>Lonchocarpus hondurensis</i> (Balchek'aax), <i>Swarizia cubensis</i> (K'ataloox)	<i>Crescentia cujete</i> (Was), <i>Ebritia tinifolia</i> (Roble/ beek)	
Abril	<i>Gliricidia sepium</i> (BalcheKej), <i>Piscidia piscipula</i> (Ja'abin), <i>Pitbecellobium platylobum</i> (Sakmuk), <i>Swarizia cubensis</i> (K'ataloox)	<i>Cordia dodecandra</i> (Siricote), <i>Cordia gerasacanthus</i> (Bojom), <i>Crescentia cujete</i> (Was), <i>Ebretia tinifolia</i> (Roble/ beek)	
Mayo	<i>Piscidia piscipula</i> (Ja'abin), <i>Swarizia cubensis</i> (K'ataloox)	<i>Cordia dodecandra</i> (Siricote), <i>Cordia gerasacanthus</i> (Bojom), <i>Crescentia cujete</i> (Was)	
Junio	<i>Pitbecellobium platylobum</i> (Sakmuk)		

Datos proporcionados por el Herbario Museo de Biodiversidad Maya, enero 2012

Los resultados palinológicos coinciden con los encontrados por otros autores, donde la presencia del polen de *Gymnopodium floribundum* y *Bursera simaruba* se encuentra en todas las muestras de miel analizadas y colectadas en mayo. Las especies vegetales melíferas colectadas coinciden con las reportadas tanto para época de cosecha como de temporal, por lo que se puede aprovechar el registro palinológico para futuras investigaciones que den soporte a la fenología floral de la zona (Figura 4). Es importante remarcar que las mieles que son consideradas uniflorales, de un tipo polínico específico, pueden tener una diversidad polínica muy diferente, dependiendo de la localidad en las que se originaron, ya que si bien las características como olor, sabor y color dependen principalmente del tipo polínico predominante, otras especies vegetales pueden contribuir a la presencia de alcaloides o metabolitos secundarios como flavonoides o compuestos que confieren cualidades nutraceuticas a la miel de abeja.

Hasta ahora se ha detectado que las especies melíferas conocidas comúnmente como jobo, chaya silvestre y tzalam, pudieran ser algunas de las especies de riesgo, en cuanto a producción de alcaloides en la zona de Carrillo Puerto y Hecelchakán, en la temporada de secas. Sin embargo, aun falta analizar las muestras de miel correspondientes a dicha zona para verificar si la concentración de alcaloides detectadas en la especie vegetal también se encuentra en las mieles con mayor abundancia de polen de estas especies vegetales.

4.3.4. Actividad antioxidante y antimicrobiana de la miel

Los agentes antimicrobianos juegan un papel muy importante en la prevención y reducción de enfermedades e infecciones, sin embargo, la rápida resistencia generada por patógenos contra los antibióticos, ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas, tal es el caso de los productos naturales o aquellos basados en extractos de plantas, donde la miel está incluida (Mandal y Mandal, 2011). La susceptibilidad de las bacterias a la miel varía dependiendo de las características fisicoquímicas del producto, de los componentes ya mencionados

en el apartado 4.2.2 presentes en la miel, así como dependiendo del tipo de microorganismo analizado. La determinación y caracterización de los compuestos presentes en la miel que podrían ser responsables de su capacidad antioxidante y antimicrobiana, así como la determinación de diferentes concentraciones que puedan inhibir parcial o totalmente diversas bacterias contaminantes de alimentos, proporcionan información para ampliar el conocimiento de la misma y de esa manera conocer el potencial de la miel en la salud humana. Recientemente se están realizando trabajos enfocados al estudio de la capacidad antimicrobiana de la miel, así como del contenido de flavonoides en ella, con el fin de determinar concentraciones de miel que puedan ser añadidas a alimentos para reducir la contaminación o proporcionarle actividades funcionales a los mismos, de igual forma estas concentraciones pueden utilizarse para reducir enfermedades o procesos infecciosos, ocasionados por diversos tipos de bacterias.

4.4. CONCLUSIONES

Las nuevas herramientas de la biotecnología han permitido el entendimiento de diversos procesos bioquímicos que se llevan a cabo en la naturaleza, de igual forma nos ha permitido profundizar en el conocimiento para el mejoramiento de procesos de productos alimenticios tradicionales. El CIATEJ Unidad Sureste a lo largo de 10 años ha sido partícipe en la generación de este conocimiento, tanto en desarrollar procesos que mejoren la calidad de la miel, como en productos alimenticios en los que la miel pueda ser utilizada como materia prima. Aún queda un gran camino por recorrer en el estudio de la miel de la península de Yucatán, y en el CIATEJ se cuenta con la disposición y competencia para recorrerlo.

4.5. PROSPECTIVA

La Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC) se creó a fines de 1993 para promover y apoyar la colaboración en ciencia y tecnología entre los dos países. FUMEC funciona como

una articuladora de esfuerzos institucionales para facilitar la colaboración en áreas prioritarias, logrando un impacto en la solución de problemas y en la búsqueda de nuevas oportunidades. La experiencia de FUMEC ha destacado la importancia de concentrarse en temas de relevancia, buscando tener resultados a mediano y largo plazos, lo cual depende de los avances científicos y tecnológicos, pero también de la capacidad binacional para integrar programas que tengan objetivos de interés para México y Estados Unidos, así como el aprovechamiento de alianzas y oportunidades de colaboración con otros países. Actualmente el CIATEJ forma parte de las instituciones con las que colabora esta fundación y en abril de este año fue aceptado un proyecto de colaboración para el desarrollo de un microclúster de productos de valor agregado, derivados de la apicultura en Yucatán, donde CIATEJ Unidad Sureste formará parte activa, mediante la asesoría científica y tecnológica para el desarrollo de nuevos productos y procesos.

El objetivo general del proyecto es la conformación de una estructura estratégica en Yucatán, basado en productos biotecnológicos apícolas de valor agregado, que permitan potenciar la competitividad a nivel global, de manera que contribuyan al desarrollo regional. Esto permitirá fortalecer una red sustentable de productores basada en la cooperación, con la articulación de centros de investigación, técnicos y proveedores de insumos básicos, para ser capaces de garantizar un nivel de calidad que permita competir en los mercados nacional e internacional. Además, permitirá generar redes empresariales institucionalizadas capaces de competir con cualquiera en el mundo, utilizar todos los recursos disponibles para internacionalizarse y aprovechar todas las oportunidades, formalizar relaciones entre empresas, productores e instituciones que aporten valor a la cadena, elaborar un plan de desarrollo que examine la viabilidad técnica, económica y financiera del clúster, desarrollando las estrategias que cumplan los objetivos, así como generar un portafolio con líneas principales de desarrollo científico y tecnológico de productos apícolas competitivos a nivel global, que generen la inclusión o el desarrollo de recursos humanos profesionistas con grado de maestría y doctorado (FUMEC, 2011).

4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Suárez JM, Tulipani S, Díaz D, Estevez Y, Romandini S, Giampieri F, Damiani E, Astolfi P, Bompadre S, Battino M (2010). "Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds". *Food and Chemical Toxicology*. 48:2490-2499.
- Bogdanov S and Martin P (2002). *Honey Authenticity: a Review*. Swiss Bee Research Centre pp. 1-20.
- Dragone G, Mussatto SI, Oliveira JM, Teixeira JA (2009). "Characterisation of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation". *Food Chemistry*. 112, (4):929-935.
- FUMEC, Fundación México - Estados Unidos para la Ciencia, www.fumec.org.mx.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sector Agroalimentario de México 2004. Estadísticas del Comercio Exterior de México.
- Isla MI, Craig A, Ordoñez R, Zampini C, Sayago J, Bedascarrasbure E, Alvarez A, Salomón V, Maldonado L (2011). "Physico chemical and bioactive properties of honeys from Northwestern Argentina". *LWT-Food Science and Technology* 44(9):1922-1930.
- Kahoun D, Rezková S, Veškrnová K, Královský J, Holčápek M (2008). "Determination of phenolic compounds and HMF in meads using HPLC with coulometric-array and UV detection". *Journal of Chromatography A*. Volume 1202, 1:19-33.
- Kahraman T, Buyukunal SK, Vural A, Altunatmaz SS (2010). "Physico-chemical properties in honey from different regions of Turkey". *Food Chemistry* 123:41-44.
- Karabournioti S y Zervalaki P (2001). "Efecto del calentamiento en el HMF y la inversa de la miel". *Apiacta* 36(4):177-181.
- Mandal S, Mandal MD, Pal NK, Saha K (2010). "Antibacterial activity of honey against clinical isolates of *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella enterica Serovartyphi*". *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 961-964.
- Mandal MD and Mandal S (2011). "Honey: its medicinal property and antibacterial activity". *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 3(12): 154-160.
- Norma Mexicana de Miel NMX-F-036-981, Alimentos-Miel-Especificaciones y métodos de prueba.
- Porter B (2003). "La apicultura y el paisaje maya. Estudio sobre la fenología de floración de las especies melíferas y su relación con el ciclo apícola en La Montaña, Campeche, México". *Mexican Studies / Estudios Mexicanos*, 19(12): 303-330.
- Ramalhosa E, Gomes T, Pereira AP, Dias T and Estevinho LM (2011). "Mead Production: Tradition versus Modernity". *Advances in Food and Nutrition Research*, 63:101-118.
- Sáenz C, Gómez C (2000). *Mieles españolas. Características e identificación mediante el análisis de polen*. Ediciones Mundiprensa. Madrid, pp. 125-129.

- SDR-Gobierno del Estado. Estadísticas Agropecuarias. En: Informe de Gobierno del Estado de Campeche, 1999. Campeche, Campeche.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Coordinación General de Ganadería. Situación actual y perspectiva de la apicultura en México. Claridades Agropecuarias 2010; (199):3-32.
- Singh N and Bath PK (1997). "Quality evaluation of different types of Indian honey". *Food Chemistry*. 58(1-2): 129-133.

AISLAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS MICROBIANOS PARA EL DESARROLLO BIOTECNOLÓGICO DE NUEVOS PRODUCTOS Y PROCESOS

Evangelista-Martínez Z, González Flores T,
Sánchez Contreras MA, Rodríguez Buenfil I

zevangelista@ciatej.net.mx

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad Sureste,
calle 30 Núm. 151, interior Canacintra por 7 y 7A,
Col. García Ginerés, Mérida, Yucatán, CP 97070*

5.1. RESUMEN

Los recursos microbianos se pueden definir como el conjunto de microorganismos y su material genético que potencialmente puedan ser utilizados por el hombre para desarrollar nuevos productos y procesos de utilidad. El estudio de los microorganismos ha permitido desarrollar distintas áreas de la medicina, biología, ecología, biología molecular, genética y evolución, que han contribuido a mejorar la calidad de vida y salud de las personas y animales, a disminuir las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos vegetales y a mejorar la calidad de un gran número de alimentos. Estos microorganismos pueden ser obtenidos prácticamente de cualquier ambiente, desde los suelos desérticos hasta suelos inundables, de ambientes dulce acuícolas a marinos, de bosques de selvas tropicales a bosques de montaña, desde la zona ecuatorial tropical hasta las zonas polares. Por ello, la diversidad de distintos grupos de microorganismos ha sido objeto de estudio en la Unidad Sureste del CIATEJ,

buscando aislar, conservar y aprovechar aquellas cepas que puedan ser utilizadas y aplicadas en la industria. Dentro de los grupos microbianos que se han investigado se encuentran las bacterias ácido lácticas (BAL), actinobacterias, levaduras y hongos que provienen de muestras de suelo, de frutas y jugos fermentados. Dentro de los usos y aplicaciones que se han obtenido con algunos de estos microorganismos están la elaboración de salsas fermentadas de chile habanero, búsqueda de actividad antiparasitaria y antimicrobiana, así como en el control biológico de hongos fitopatógenos. En este capítulo se describen aquellos proyectos que han venido desarrollándose en la Unidad Sureste y que han tenido como finalidad darles a los microorganismos una utilidad.

Palabras clave: Recursos microbianos, Conservación, Diversidad, Bacterias

5.2. INTRODUCCIÓN

El estudio de la diversidad microbiana ha venido desarrollándose a lo largo de los años, tomando en cuenta diversos aspectos relacionados con su variedad funcional y estructural, las variaciones en tamaño de la célula, en su morfología, en la división celular y en los aspectos relacionados a su capacidad metabólica y de adaptación a las condiciones ambientales. No obstante, en la actualidad gracias a los estudios relacionados al material genético de los microorganismos se ha logrado descubrir la existencia de millones de especies aún desconocidas (Montaño-Arias *et al.*, 2010).

En este sentido, la capacidad y rapidez para adaptarse a los cambios ambientales, en conjunto con su historia evolutiva, les ha permitido ser los organismos más diversos, versátiles y exitosos de todos los seres vivos. Sin embargo, conocemos muy poco sobre la manera en que se estructuran sus comunidades y la diversidad existente dentro de ellas; por ejemplo, se calcula que en 30 g de suelo rico en nutrientes existen un millón de especies de bacterias, lo que constituye una de las más ricas comunidades biológicas conocidas (Dykhuizen, 2005).

México es uno de los países considerados “megadiversos”, como consecuencia de contar con un territorio con una amplia gama de ecosistemas. Se ubica entre los primeros cinco países con mayor biodiversidad, que en conjunto albergan entre 60 y 70% de la diversidad biológica del planeta, y sólo México concentra aproximadamente 12% del total mundial como consecuencia de la variedad de ecorregiones y a que prácticamente todos los tipos de vegetación terrestre y acuáticos conocidos se encuentran representados en distintas partes del país. (http://www.conabio.gob.mx/2ep/images/c/c5/capital_natural_1.pdf)

La península de Yucatán, constituida por los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, presenta una situación geográfica, climática, hídrica y edáfica única en el mundo, donde se desarrollan ecosistemas como lagunas costeras, manglares, arrecifes coralinos y salineras, con una vegetación principalmente caducifolia la cual produce millones de toneladas al año de materia orgánica que debe ser degradada por las comunidades microbianas del suelo. Asimismo, la naturaleza cársica del suelo constituye un componente adicional que en conjunto sugiere la presencia de comunidades microbianas únicas, que a futuro pudieran ser utilizadas para beneficio de la región.

5.2.1 Recursos microbianos en la naturaleza

Por muchos años, el hombre ha buscado en la naturaleza productos que contribuyan a mejorar su calidad de vida, alivien sus enfermedades y contribuyan a preservar la inocuidad de los alimentos por un mayor número de días. Muchas de estas soluciones han venido del mundo microbiano, que ha proporcionado una gran cantidad de moléculas bioactivas, muchas de las cuales han sido ampliamente estudiadas, pero un gran número de ellas siguen siendo desconocidas, argumento a partir del cual surgió el concepto de bioprospección.

La bioprospección está definida como la búsqueda sistemática de nuevos recursos biológicos, los cuales pueden tener valor comercial. En esta búsqueda sistemática se incluyen organismos completos, genes,

compuestos químicos, extractos y otros productos obtenidos de la naturaleza que deben ser manejados y aprovechados de acuerdo con los conceptos sobre uso sustentable de los recursos biológicos (Quezada, 2007). Por lo tanto, sin duda alguna, los microorganismos representan un importante recurso natural, biológico y genético para las sociedades humanas del presente y futuro.

5.2.2. Aspectos biotecnológicos relacionados a su aplicación

Actualmente, la industria que ocupa el primer lugar en ventas en el ámbito mundial es la industria agrícola, incluidas todas sus ramas, por ello en una gran cantidad de actividades y servicios la diversidad biológica tiene una importancia mayúscula. Una idea sobre la importancia que representa la diversidad biológica en las ventas de diversos productos se muestra en la Tabla 1. El uso de los microorganismos y su aplicación en la agroindustria ha generado una gran cantidad de nuevos procesos mediante estrategias diseñadas por la biotecnología tradicional, cuyos beneficios se pueden observar en los productos tradicionales como cerveza, destilados y vinos, licores, yogurt, quesos, biogás, etanol como biocombustible, entre otros, y por la biotecnología moderna que produce proteínas recombinantes, frutos de maduración lenta, plantas resistentes a la sequía, al ataque de insectos y herbicidas, resistentes a virus, animales para producción de carne mejorados genéticamente, entre muchos otros.

De tal suerte que se discute de manera importante el uso de los microorganismos en los planes futuros para obtener nuevos productos y servicios y detectar las áreas de oportunidad y las opciones que se pueden adoptar en procesos industriales sustentables. Por ello, las herramientas modernas que se utilizan en la biotecnología (ADN recombinante, ingeniería de proteínas, microarreglos, biosensores, bioprocesamientos, etc.), combinadas con el conocimiento científico especializado, deben apoyarse para que todo lo generado pueda ser aprovechado por el hombre y en beneficio del medio ambiente (Johnson-Green, 2002). Así, es indispensable seguir buscando nuevos mi-

Tabla 1. Estimación de las ventas anuales de diversos productos obtenidos a partir de los recursos naturales (biodiversidad)

Productos	Ventas anuales (billones de dólares US) *	
	Bajas	Altas
Farmacéuticos	75	150
Medicinas derivadas de herbolaria	20	40
Producción agrícola	300	450
Horticultura ornamental	16	19
Protección de cultivos	0.6	3
Biotecnología (excepto salud y agricultura)	60	120
Salud personal y cosméticos	2.8	2.8
Total	500	800

* Ten Kate, 2004

croorganismos que presenten la capacidad de producir antibióticos, polímeros, enzimas, aminoácidos y diversos aditivos para alimentos.

5.2.3. Aislamiento y conservación de microorganismos

Los microorganismos en su conjunto se caracterizan por llevar a cabo diversas funciones en la naturaleza, dos de las más importantes son las relacionadas a su contribución con la biosfera en su conjunto y al hombre. Desde esta perspectiva, una de las razones por la cual los microorganismos se deben conservar y proteger es que dependemos completamente de ellos. Adicionalmente, la diversidad biológica microbiana contiene una gran cantidad de recursos valiosos para las industrias farmacéutica, biotecnológica y de los alimentos (Bull, 2004; Challis, 2008).

La pérdida de esta diversidad implica una pérdida de recursos potencialmente útiles, por lo cual se deben establecer y definir criterios

para que las cepas puedan ser conservadas en una colección microbiana *ex situ* bajo condiciones ambientales controladas (Supardiyo and Smith, 1997).

En la Unidad Sureste del CIATEJ el estudio de los grupos microbianos se ha venido desarrollando dentro de una de las cuatro categorías de prioridades o motivos para la conservación, que se refiere “a la conservación de las comunidades/ecosistemas microbianos que tienen un uso inmediato o potencial” (Cockell and Jones, 2009). Tomando en cuenta lo anterior, a continuación se presentan los grupos microbianos que se han trabajado en la Unidad y los proyectos que se han desarrollado.

5.3. INVESTIGACIONES REALIZADAS

5.3.1. Estudio de las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) en el desarrollo de nuevos productos y procesos

La gran mayoría de los consumidores de un buen número de productos alimenticios principalmente lácteos, como el yogurt, mantequilla o queso, ni siquiera tienen la idea de que ingieren, cada vez que los consumen, una biomasa bacteriana viva, la cual ha acidificado la leche que se utiliza en esos productos.

Si un buen número de consumidores supiera, pero sobre todo si observara la presencia de las bacterias, su reacción sería de no volver a consumirlos, específicamente porque las bacterias comúnmente las asocian a las enfermedades. Sin embargo, algunas especies de bacterias son esenciales para producir estos alimentos (Johnson-Green, 2002), tal es el caso de las Bacterias Ácido Lácticas (BAL). Este grupo de bacterias ha sido difícil de definir porque muchos miembros no pueden describirse por características en común, en su lugar lo hacen como el grupo de bacterias relacionadas que tienen propiedades similares y convierten los carbohidratos en ácido láctico por medio de la fermentación (Kun, 2003).

Las BAL son un grupo microbiano muy bien distribuido en la naturaleza (Murray *et al.*, 1998); toleran el oxígeno, aunque no lo usan, producen ácido láctico, reducen el pH y algunas de ellas producen metabolitos secundarios (antibióticos) que eliminan a otras bacterias. Las bacteriocinas son los principales antibióticos producidos por estas bacterias, identificadas como péptidos antimicrobianos, proteínas o complejos proteicos (Demain and Davis, 1999).

El grupo está conformado por bacterias Gram positivas de los géneros *Aerococcus*, *Bifidobacterium*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Lactosphaera*, *Leuconostoc*, *Microbacterium*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* y *Weissella* (Jay, 2000).

Considerando lo antes expuesto, el año 2004 fue el momento en que formalmente se dio inicio a los estudios enfocados a conocer la diversidad microbiana de algunos grupos de microorganismos de reconocida importancia en diversos procesos industriales. A continuación se exponen los proyectos desarrollados en estos diez años de labores.

Estudio de la diversidad genética de Bacterias Ácido Lácticas en la península de Yucatán

Los estudios de diversidad genética son útiles no sólo en los aspectos ecológicos, de conservación y manejo de los recursos naturales, sino para buscar polimorfismos moleculares asociados a características de interés agrícola, médico, biotecnológico, o industrial, de cualquier tipo de organismos: plantas, ganado, algas marinas, reptiles, o microorganismos.

El objetivo del proyecto consistió en estudiar la diversidad genética de las Bacterias Ácido Lácticas en efluentes de la industria agropecuaria y sedimentos acuíferos y marinos de la península de Yucatán. Entre los puntos importantes desarrollados estuvo la determinación del impacto de las actividades agropecuarias sobre la diversidad de



Figura 1. Zona de muestreo en cuerpo de agua

las BAL, así como su distribución, la diversidad presente en los sedimentos de cuerpos de agua de ambientes costeros-marinos y de cuerpos de agua interiores (Figura 1), la conformación de una colección de BAL aisladas y un Sistema de Información Geográfica (SIG) relacionado a la distribución de las BAL en la península de Yucatán.

Las zonas donde se llevó a cabo el estudio de la diversidad de las BAL fueron ubicadas en diferentes puntos de la península de Yucatán, en particular en regiones ganaderas y cuerpos de agua de ambientes terrestres y cuerpos de agua costeros-marinos. Las zonas ganaderas fueron seleccionadas con base en la producción de los sectores de bovinos, pollos y pavos. Los cuerpos de agua terrestre se seleccionaron de aquellos que no estaban conectados al sistema marino-cos-



Figura 2. Toma de muestras de sedimento dentro de una zona costera-marina

tero, y las zonas costeras-marinas se eligieron considerando la gran diversidad y menor impacto por actividades humanas. En total, se tomaron muestras en 34 sitios, de los cuales nueve correspondieron al estado de Campeche, 16 a Yucatán y 9 a Quintana Roo (Figura 2). <http://www.ciatej.net.mx/balyuc/>

En los diferentes puntos de muestreo, las muestras fueron tomadas de sedimentos a 20 cm de profundidad para el caso de las zonas costeras, de la parte superficial del suelo y de las granjas, dependiendo de la ubicación de los animales. A cada una de las muestras se les determinaron datos geográficos de geolocalización y parámetros físico-químicos de pH, conductividad, salinidad y temperatura (Figura 3).



Figura 3. Preparación de muestras de suelo para análisis microbiológico y fisicoquímico

En este proyecto se determinó por primera vez la distribución de las bacterias ácido lácticas de la península de Yucatán. En primer lugar, se aislaron en condiciones de laboratorio especies de bacterias BAL pertenecientes a cuatro familias distintas (Tabla 2). Un aspecto innovador implementado para el aislamiento de estas bacterias fue el incluir en el medio de cultivo el compuesto cloruro de 2,3,5-Trifenilte-trazolio (TTC) que permitió contar con un medio de aislamiento más específico para bacterias del grupo de las BAL (Zamudio-Maya *et al.*, 2008), además de que el aislamiento presuntivo de probables bacterias BAL fue más rápido y eficiente. El procedimiento de aislamiento llevado a cabo mostró la presencia de cuatro familias de BAL con un buen número de cepas, Lactobacillaceae y Enterococaceae con los números más altos, 126 y 56, respectivamente. Asimismo, los géneros identificados en ambas familias fueron específicos para *Pediococcus* (82 cepas) y *Lactobacillus* (44 cepas) del primero y *Enterococcus* (56 cepas) del segundo. Los otros dos géneros representados en los aislamientos fueron *Weissella* (16 cepas) y *Lactococcus* (3 cepas).

Las cepas aisladas representan la primera colección de bacterias ácido lácticas endémicas del sureste mexicano. Esta colección, que se ha mantenido conservada, permitirá realizar estudios enfocados a buscar en algunas de ellas, propiedades y características particulares que pudieran ser usadas para aprovechar el potencial biotecnológico que presentan estas cepas.

Tabla 2. Bacterias Ácido Lácticas aisladas de la península de Yucatán y los géneros identificados mediante análisis de la secuencia del gen ribosomal RNA 16S

Número de cepas BAL aisladas de muestras tomadas en distintas zonas de la península de Yucatán		
Familia	Género	Núm. cepas
Lactobacillaceae	<i>Pediococcus</i>	82
	<i>Lactobacillus</i>	44
Enterococcaceae	<i>Enterococcus</i>	56
Leuconostococcaceae	<i>Weissella</i>	16
Streptococcaceae	<i>Lactococcus</i>	3
Desconocidas	Desconocidas	15
Total		216

En cuanto a los estudios moleculares de las cepas aisladas, así como del análisis de la diversidad genética de las BAL por medio del metagenoma de los sedimentos, es importante mencionar que para ambos casos se desarrollaron metodologías innovadoras para la purificación de DNA genómico de las cepas aisladas y para la purificación del DNA metagenómico directamente de los sedimentos. Para el primer caso, se obtuvo un procedimiento rápido y eficiente para purificación de DNA genómico (Reyes-Escogido *et al.*, 2010, 2012) y para el segundo caso se logró un proceso eficiente de purificación del DNA de muestras de sedimento y sobre todo para la eliminación de moléculas contaminantes, como en los ácidos húmicos.

El análisis molecular del DNA purificado de las cepas y del metagenoma, en conjunto con un análisis bioinformático, sirvió en primer lugar para diseñar una serie de oligonucleótidos por medio de los cuales sería posible identificar los diferentes géneros, incluso a nivel de especie, analizando algunas de las regiones hipervariables del gen del DNA ribosomal 16S.

Este proyecto, durante toda la etapa de ejecución y posterior a su finalización, generó diferentes productos, dentro de los cuales se encuentra un cepario conformado por 216 cepas aisladas y preservadas, las cuales se identificaron a nivel de género mediante el análisis de la secuencia del gen ribosomal 16S, mismas que fueron reportadas en la base de datos del GenBank. De las secuencias del rDNA 16S se obtuvo una base de datos con un total de 1,782 secuencias del orden Lactobacillales, y algunas de ellas fueron empleadas para generar una base de información relacionada a la estructura secundaria del gen ribosomal.

Asimismo, se generó una base de datos SIG que contiene toda la información relacionada a los datos generados por el proyecto, que incluye la distribución geográfica de estos microorganismos. Esta información se encuentra disponible en la página web: <http://www.ciatej.net.mx/balyuc/>

Por otra parte, se desarrollaron dos métodos de análisis nuevos: uno microbiológico y el otro molecular, en los que participaron y graduaron dos alumnos de Maestría en Ciencias y cuatro de licenciatura.

Finalmente, se presentaron tres publicaciones en revistas indexadas y se participó en nueve congresos nacionales e internacionales.

Evaluación de la actividad antimicrobiana de bacterias silvestres de chile habanero (*Capsicum chinense*)

Un aspecto muy interesante del grupo de las bacterias BAL es su capacidad de producir diferentes moléculas antimicrobianas de distintos orígenes, como son ácidos grasos de cadena corta (AGCC)

como el ácido acético, propiónico y butírico que se encargan de reducir el pH del medio inhibiendo el crecimiento de bacterias (Ray y Sandine, 1992); además, algunas de estas bacterias pueden producir sustancias como peróxido de hidrógeno, diacetilo y bacteriocinas (Servin, 2004).

Estas moléculas se agrupan en tres clases: la Clase I o lantibióticos son péptidos de tamaño pequeño (< 5 kDa); los de la Clase II son pequeños péptidos termoestables (< 5 kDa), y los de la Clase III son péptidos termoestables de mayor tamaño de alrededor 30 kDa (Klaenhammer, 1993; Servin, 2004).

Este estudio se llevó a cabo con la finalidad de evaluar la actividad antimicrobiana de bacterias aisladas de chile habanero (*Capsicum chinense*) y evaluar las características de producción de bacteriocinas. Para ello se requirió establecer las condiciones de crecimiento de las cepas BAL aisladas, determinar la actividad antimicrobiana *in vitro* contra bacterias patógenas y evaluar algunas características de estabilidad fisicoquímica de las bacteriocinas producidas.

La evaluación de la actividad antimicrobiana de las cepas aisladas se realizó probando el efecto del sobrenadante concentrado del cultivo libre de células contra bacterias patógenas de humanos. Este análisis se llevó a cabo mediante ensayos en placa Petri por el método Kirby-Bauer.

La actividad antimicrobiana de las cepas BAL aisladas fue evaluada contra las bacterias *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa* en ensayos con sobrenadantes concentrados preparados a partir del medio de crecimiento de diferentes bacterias BAL. Del total de aislamientos, cinco cepas de BAL fueron las que mostraron mayor actividad inhibitoria contra las cepas patógenas (Tabla 3).

Finalmente, con el apoyo de estudios posteriores que implicaban calentar el sobrenadante antes de probarlo contra las cepas patógenas, se determinó que el sobrenadante del medio de cultivo de las cepas B8-B y B9-B presentaba un componente proteico que mantiene

Tabla 3. Actividad inhibitoria de BAL contra diversas bacterias patógenas. Se determinó el diámetro del halo de inhibición en ensayo Kirby-Bauer

Cepa de BAL	Halo de inhibición en las bacterias patógenas * (mm)				
	<i>E. c</i>	<i>E. f</i>	<i>S. e</i>	<i>S. a</i>	<i>P. a</i>
<i>L. plantarum</i> ⁺ (B2-B)	6.65	4.11	6.67	5.43	6.03
<i>P. acidilactici</i> ⁺⁺ (B7-B)	6.31	5.82	5.95	6.51	6.27
<i>P. acidilactici</i> (B8-B)	6.28	8.72	7.25	6.01	6.24
<i>L. plantarum</i> (B1-B)	4.93	4.73	6.34	4.23	6.08
<i>P. acidilactici</i> (B9-B)	5.93	6.78	8.15	7.22	8.43

**E.c*: *Escherichia coli*; *E.f*: *Enterococcus faecalis*; *S.e*: *Salmonella enteritidis*; *S.a*: *Staphylococcus aureus*;

P.a: *Pseudomonas aeruginosa*

⁺*Lactobacillus plantarum*; ⁺⁺*Pediococcus acidilactici*

el efecto inhibitorio contra las cepas patógenas, que probablemente sean péptidos del tipo de las bacteriocinas.

5.3.2 Banco de Germoplasma de Actinomicetos

Los microorganismos son componentes esenciales de esta diversidad biológica y juegan un papel esencial en el mantenimiento de la biosfera gracias a su capacidad de adaptación y plasticidad metabólica. La forma más simple de caracterizar cuantitativamente a una comunidad es mediante el conteo del número de especies presentes en un ecosistema, esta medida se conoce como riqueza de especies y en ocasiones ha sido utilizada como un indicador de la diversidad. Sin embargo, para el caso de los microorganismos se complica poder contar el número de especies debido a que muchas de ellas no pueden crecer en condiciones de laboratorio (Sharma *et al.*, 2005). La gran mayoría de los países desarrollados y algunos en vías de serlo man-

tienen colecciones de microorganismos que incluyen algas marinas, hongos patógenos de plantas y bacterias patógenas de humanos. De acuerdo con el Centro Mundial de Información de Microorganismos, están registrados 800,000 cultivos mantenidos en 484 colecciones en todo el mundo. Del total de organismos, 42% son bacterias, 46% son hongos filamentosos, 2% virus, 0.6% líneas celulares y 10% otros microorganismos, que representan entre 10 y 15% de las especies conocidas y una fracción muy pequeña del total de la diversidad microbiana estimada. Por lo tanto, se necesita encontrar opciones para aislar, clasificar y conservar el mayor número de microorganismos, incluso por más complicados que puedan ser, con el fin de que avancen juntas la ecología y la biotecnología en beneficio de la sociedad.

Los actinomicetos probablemente representan el grupo de bacterias más grande y diverso del mundo, que se caracterizan por ser organismos Gram positivos, generalmente aerobios, que pueden ser unicelulares o filamentosos y que presentan un alto contenido de G+C (>55%) en su DNA. La mayoría de ellos son de vida libre y saprófita, ampliamente distribuidos en el suelo, donde se puede encontrar un millón de actinomicetos por gramo de suelo cumpliendo una función ecológica importante en la descomposición de la materia orgánica.

El orden de los actinomicetales comprende 63 géneros y casi todos sus miembros desarrollan crecimiento miceliar filamentosos, que puede estar diferenciado en micelio vegetativo y micelio aéreo, este último a su vez se subdivide en hifas septadas y que al especializarse se diferencian en esporas (Williams *et al.*, 1989). Dependiendo del tipo de suelo, los actinomicetales comprenden aproximadamente 20-60% de la población microbiana del suelo. El olor característico a tierra húmeda se debe a su actividad metabólica y a la producción de pigmentos, terpenoides (geosminas) y enzimas extracelulares que son capaces de degradar materia orgánica de origen vegetal y animal. Las enzimas que presentan son lipasas, fosfolipasas, nucleasas, proteasas, amilasas, quitinasas, lignina-hidrolasas, celulasas, etc., todas ellas con un gran potencial de aplicaciones industriales. Algunas otras especies son patógenas de humanos, animales o plantas o son fijadores de nitrógeno (Williams *et al.*, 1989). *Streptomyces* es el género dominante

en la mayoría de los aislamientos, aunque se han venido realizando grandes esfuerzos por mejorar las técnicas de aislamiento y poder recuperar especies de otros géneros, lo que ayudaría a ampliar el rango de compuestos bioactivos. A partir de diferentes tipos de suelos se pueden aislar especies productoras de nuevos metabolitos secundarios; por ejemplo, de suelos salinos se han aislado y obtenido microorganismos halófilos que producen una variedad de metabolitos secundarios y enzimas hidrolíticas las cuales pueden ser aprovechadas en procesos industriales realizados en condiciones extremas, o bien, los metabolitos pueden presentar actividad antibacteriana contra bacterias patógenas humanas y contra bacterias y hongos fitopatógenos (Moncheva *et al.*, 2000-2002; Srivibool y Sukchotiratana, 2006).

Aislamiento, caracterización y conservación de un banco de germoplasma de actinomicetos aislados de Áreas Naturales Protegidas de México

La CONANP define un Área Natural Protegida (ANP) como el instrumento de política ambiental con mayor definición jurídica para la conservación de la biodiversidad, y corresponde a una superficie terrestre o acuática del territorio nacional, que sean representativas de los diversos ecosistemas y donde el ambiente original no ha sido alterado.

Considerando la importancia que tienen las ANP como medio para conservar la biodiversidad y darle un uso responsable y sustentable a los recursos, el estudio se enfocó al aislamiento, identificación, caracterización y conservación de un Banco de Germoplasma de Actinomicetos aislados de suelo de la Reserva de la Biósfera Los Petenes en el estado de Campeche y del Parque Nacional El Chico en el estado de Hidalgo.

Por tal motivo se buscó aislar estas bacterias empleando diferentes condiciones de cultivo y periodo de realización de los muestreos, con la finalidad de diversificar los géneros aislados. Una vez que se obtuvieron cepas puras se les caracterizó morfológica, fisiológica y bioquímicamente. Además, se llevó a cabo la determinación cualitativa

de las actividades enzimáticas extracelulares de lipasa, asparaginasa, naringinasa y proteasa para tener un perfil de expresión de enzimas hidrolíticas de las cepas aisladas. Finalmente, cada una de las cepas aisladas fue evaluada *in vitro* por su capacidad de inhibir bacterias patógenas de humanos y por su capacidad de antagonizar el crecimiento de algunos hongos fitopatógenos de importancia en agricultura. En su conjunto, las cepas aisladas y la ficha de caracterizaciones de cada cepa constituyeron el Banco de Germoplasma, con el que cuenta actualmente la Unidad Sureste del CIATEJ.

El aislamiento de los actinomicetos se llevó a cabo a partir de 39 muestras de suelo tomadas en ambas localidades, seleccionando aquellas con características propias del grupo de bacterias (Figura 4). Una vez que se tuvieron las cepas purificadas se caracterizaron por su morfología, por su capacidad de asimilar diversas fuentes de carbono y por la actividad enzimática extracelular en placas Petri. En cuanto a la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias y hongos patógenos, estas pruebas se realizaron mediante ensayos de confrontación. Todos estos caracteres fueron registrados y organizados para conformar fichas de identificación de cada una de las cepas aisladas.

Por último, todas las cepas aisladas se conservaron mediante el almacenamiento de esporas y en algunos casos de micelio vegetativo, de acuerdo con protocolos ampliamente documentados para este grupo de organismos.

Las cepas de actinomicetos que se encuentran conservadas suman un total de 315 y se encuentran organizadas mediante procedimientos estándares. De cada una de las cepas se elaboró una ficha de identificación, donde cada uno de los caracteres mencionados están plasmados y con esto será posible localizar una cepa de interés. Esta base de datos organizada establece los caracteres morfológicos, fisiológicos, bioquímicos, moleculares y de actividad biológica (Figura 5).

Tan solo esta información es muy importante puesto que permitirá no sólo realizar estudios sobre la biología de los actinomicetos sino, en un futuro, abre la posibilidad de aprovechar las cepas aisladas



Figura 4. Cultivos puros de actinomicetos aislados de suelo de las ANP

para innovar diversos procesos y actividades que tengan aplicaciones en el campo de la biotecnología. Un segundo aspecto importante es el relacionado con la información que se generó respecto de la expresión de enzimas hidrolíticas extracelulares, tal fue el caso de las actividades enzimáticas de lipasa, proteinasa, asparaginasa y naringinasa, todas estas enzimas con amplias posibilidades de tener alguna aplicación en la industria de los alimentos, papel, detergentes, medicina, etcétera.

Un aspecto de importancia es el que compete a la capacidad de los actinomicetos de producir una amplia gama de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana. En este sentido, 80% de las cepas aisladas presentó actividad antibacteriana contra al menos una bacteria patógena, entre las cuales figuraban *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*.

En cuanto a la actividad antifúngica de los actinomicetos, en este rubro cerca de 40% de los aislados presentaron actividad antagonista, en este caso sólo algunas cepas fueron evaluadas contra un amplio grupo de hongos patógenos, pero las seleccionadas tuvieron un efecto antagonista con un porcentaje de 40 a 90% (Figura 6). Esto abre una excelente oportunidad de buscar cepas


Banco de Actinomicetos de la Reserva de Biosfera los Petenes, Campeche						
	Georeferencia 19° 56' 30" N, 90° 22' 30" W Medio HVG 29 °C/21 días incubación con 2.5 µg /ml Anfotericina B, 12.5 µg /ml ácido nalidixico					
Aislamiento	ISP2 29° C/14 días					
Esporulación	Características morfológicas					
Color de micelio aéreo	Azul					
Color del micelio substrato.	Café					
Pigmento difusible al medio	-					
Color de masa de esporas	Azul					
Tinción Gram	+					
Actividad antimicrobiana						
<i>Escherichia coli</i> ATCC-11775.	-	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC-25923.	-			
<i>Salmonella enteritidis</i> ATCC-33090.	-	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC-27853.	-			
<i>Salmonella typhimurium</i> ATCC-14028.	-	<i>Fusarium</i> sp. CDBB: 1172.	+			
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC-29212.	-	<i>Candida albicans</i> .	-			
Actividades fisiológicas						
Lipasa	-	Naringinasa	-			
Asparaginasa	+	Proteasa	+			
Hidrólisis de almidón	+	Hidrólisis de caseína	+			
Producción de melanina	-					
Asimilación de Fuentes de Carbono						
Fuente	Crecimiento	Esporulación	Fuente	Crecimiento	Esporulación	
Ninguna	-	-	D-rafinosa	-	Maltosa	-
D-glucosa	+	-	D-celobiosa	-	D-arabinosa	-
Sacarosa	-	-	D-fructosa	-	D-lactosa	-
L-xilosa	-	-	L-rhamnosa	-	Mio-inositol	-
D-xilosa	-	-	Manitol	-	Glicerol	+

Figura 5. Ficha de identificación de una cepa de actinomiceto aislada de la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche

de actinomicetos con la capacidad de actuar como controladores biológicos de hongos patógenos que afectan diferentes cultivos de importancia comercial, sobre todo si estas cepas actúan contra hongos pertenecientes a grupos taxonómicos distintos y queda abierta la posibilidad de realizar pruebas en campo.

Finalmente, la contribución global de los proyectos es que el estudio es en sí un análisis de bioprospección de cepas de actinobacte-

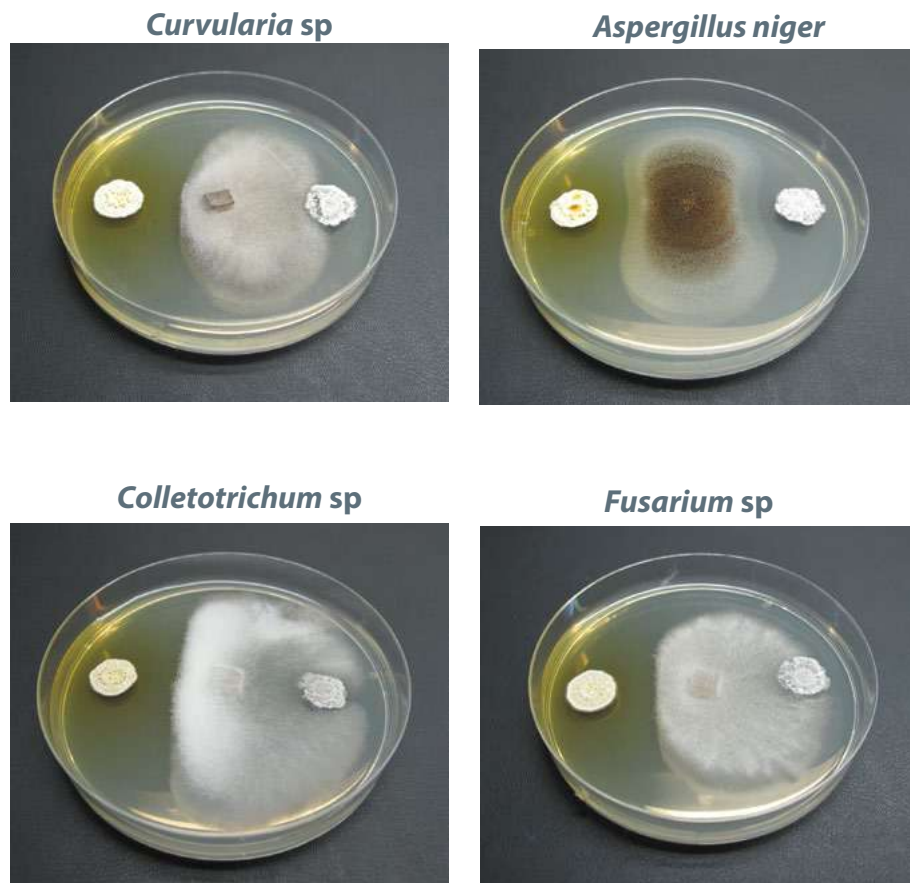


Figura 6. Cepas de actinomicetos con actividad antagonista contra hongos patógenos de plantas

rias, que no es otra cosa que el estudio de los organismos, partes y genoma de las especies aisladas que pueden ser aprovechados a nivel industrial.

Durante toda la etapa de ejecución y posterior a su finalización, estos proyectos generaron diferentes productos, entre ellos un cepario, conformado por 315 cepas aisladas y preservadas; una base de datos, que contiene la información relacionada con todos los aspectos de pruebas de caracterización (morfológica, bioquímica, fisiológica y de actividad antimicrobiana) de cada una de las cepas aisladas (Figura 7).



Figura 7. Características morfológicas de algunas cepas de actinomicetos aislados de suelo

En ambos proyectos se tuvo la participación de dos alumnos de Maestría, un alumno de especialidad y cinco de Licenciatura. Hasta el momento se han presentado trabajos publicados en revistas indexadas internacionales (1), revistas nacionales (3) y participación en congresos (tres internacionales y tres nacionales), así como la generación de cuatro solicitudes de Patente en México; dos de ellas fueron presentadas el 6 de diciembre de 2011 con número Mx/a/2011/013044 y Mx/a/2011/013045; a partir de éstas se derivaron dos patentes divisionales, que fueron presentadas ante el IMPI en mayo de 2012 con los siguientes números de solicitud: Mx/a/2012/005834 y Mx/a/2012/005836.

5.3.3 Transformaciones microbianas

Un campo de estudio que se ha desarrollado en la Unidad Sureste es el relacionado a la transformación biológica de compuestos mediante enzimas obtenidas de microorganismos, tanto de bacterias como de levaduras.

Tradicionalmente, la industria de los sabores y los aromas ha basado su actividad en la extracción de productos naturales a partir de flores y frutos, incluso semillas, hojas y hasta cortezas de árboles. Sin embargo, los rendimientos muchas veces no son los que requiere el mercado, aunado a las dificultades propias de los procesos de extracción y recuperación, lo que muchas veces genera que dichos procesos no sean llevados a escala industrial. Como consecuencia, ha sido más rentable sustituir los productos naturales con productos derivados de la industria química.

Las nuevas tendencias en salud y nutrición han provocado que se exija el uso de aditivos naturales que satisfagan las demandas de los consumidores. Así, las enzimas son requeridas a un ritmo más acelerado. Dentro de las enzimas que han venido incrementando su demanda están las llamadas oxigenasas, que de manera natural participan en la degradación de diversos compuestos, modificándolos y generando moléculas que tienen amplias aplicaciones en la industria de los aromas y sabores. Estas enzimas incluyen mono

y dioxigenasas, fenoloxidasas, peroxidasas, lipoxigenasas y xantina oxidasas. En las plantas, los productos de degradación de carotenos naturalmente modulan el desarrollo de la semilla, así como las respuestas a factores de estrés abiótico y en algunos casos funcionan como atrayentes que favorecen la polinización, o como defensa del ataque de insectos (Bouvier *et al.*, 2005). Además, son las responsables de las diversas coloraciones y perfiles aromáticos característicos de algunas flores y frutos. Recién se ha despertado un creciente interés en el empleo de microorganismos degradadores de carotenos para producir estos compuestos con aroma. Sin embargo, la caracterización bioquímica y molecular de estas enzimas microbianas sigue en desarrollo. Se ha reportado que algunos hongos comestibles poseen polifenol oxidasas y lipoxigenasas que realizan la cooxidación del β -caroteno a compuestos volátiles. No obstante, los rendimientos de conversión aún resultan muy bajos (Zorn *et al.*, 2003).

Estos compuestos volátiles son apreciados debido a su bajo umbral de detección y por sus propiedades odorantes (Schwartz *et al.*, 2001; Kloer y Schulz, 2006), y comercialmente se han venido utilizando mezclados con otros compuestos para formulaciones de cosméticos, dentífricos, cigarrillos y dulces, así como para adicionarse en sedativos, anestésicos y otros medicamentos.

Caracterización bioquímica y molecular de nuevas oxigenasas microbianas, que promueven la conversión de carotenoides a compuestos con aroma

La evaluación de la capacidad de formación de compuestos volátiles a partir de carotenoides se llevó a cabo por medio de las oxidasas de *Trichosporon asahii* purificadas y caracterizadas, parcialmente, en la fragmentación de luteína para obtener 3-hidroxibeta-ionona. Inicialmente se determinó si las enzimas extracelulares se expresaban de manera constitutiva o eran inducibles, se purificaron y analizaron en ensayos bioquímicos. Una vez cubierta esta actividad se estudió la funcionalidad de la enzima purificada al degradar otros carotenoides.

A partir de cultivos líquidos de *Trichosporon asahii* se obtuvo un sobrenadante libre de células que se logró concentrar y determinar las actividades de peroxidasa y de degradación de luteína *in vitro*. Esta serie de ensayos permitieron establecer condiciones experimentales para la inducción de las enzimas oxigenasas presentes en el sobrenadante del cultivo; estos sobrenadantes activos se analizaron por métodos electroforéticos.

Para conocer más sobre la ruptura oxidativa de luteína y la formación de compuestos con aroma, se analizaron por electroforesis en condiciones desnaturizantes los extractos enzimáticos provenientes de las fermentaciones de *T. asahii*, en presencia y ausencia de luteína. Se observó que existen proteínas en el medio de cultivo de *T. asahii* que se inducen por la presencia de luteína en el medio, en particular una proteína de aproximadamente 88.5 kDa y una de 117 kDa (Figura 8 A). Esta mezcla de proteínas se fraccionó con precipitaciones parciales hasta obtener una preparación homogénea que fue concentrada para su posterior análisis. A estas fracciones enriquecidas se les analizó con ensayos de actividad enzimática *in situ* determinando la actividad enzimática de peroxidasa (POD) en los diferentes extractos enzimáticos; se observaron dos enzimas que presentan actividad, sin embargo, la actividad de *T. asahii* es significativamente mayor cuando el microorganismo es crecido en presencia de luteína y claramente se observan las dos proteínas (Figura 8 B). La validación de que la actividad enzimática corresponde a una POD se realizó comparando la actividad contra la POD comercial de rábano, en ambos casos las proteínas son de peso molecular similar (Figura 8 C).

De acuerdo con estos resultados y en vista de que la degradación de luteína, para la formación de compuestos con aroma de 13 átomos de carbono, sólo se realiza cuando el sistema es inducido por el sustrato, suponemos que tanto la actividad de POD como la de LUT dependen de la enzima de peso aproximado a 88.56 kDa.

Lo interesante de este estudio es que se obtuvo que las oxigenasas, que pueden ser aplicadas en la industria de la transformación de otros compuestos, son inducibles por luteína. A partir de esto, se requerirán

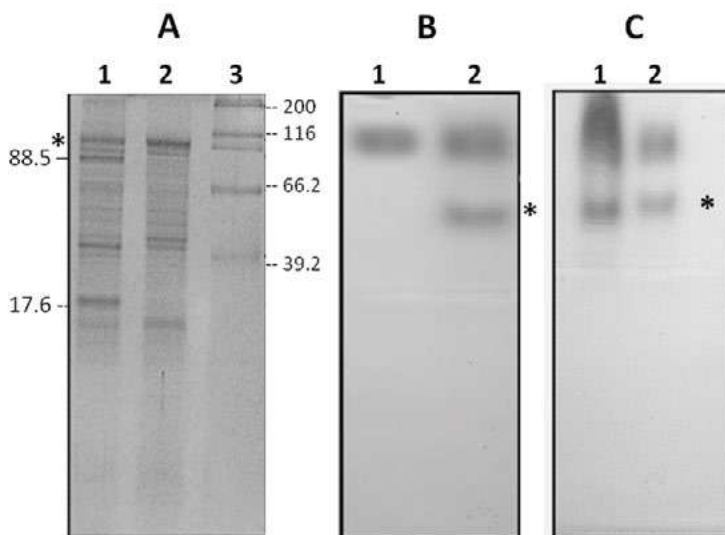


Figura 8. Determinación de la actividad enzimática de la peroxidasa de *Trichosporon asahii*. A. Gel SDS-PAGE del sobrenadante de un cultivo crecido por 40 horas; 1, con luteína; 2, sin luteína; 3, marcador. B. Determinación *in situ* de la actividad de peroxidasa (POD) del sobrenadante de un cultivo, revelado con guaiacol; 1, sin luteína; 2, con luteína. C. Determinación *in situ* de la actividad de POD de *T. asahii* comparada con la de rábano; 1, POD de rábano; 2, POD de *T. asahii*

estudios encaminados a caracterizar bioquímicamente la enzima del *T. asahii* iniciando por el pH y temperatura óptima de actividad.

Las transformaciones microbianas de compuestos son un campo que está en continuo crecimiento por su capacidad de sintetizar de novo o por biotransformar, mono, sesqui, tri, o tetraterpenos. Estas enzimas pueden provenir de hongos o bacterias que tengan la capacidad de formar compuestos volátiles utilizando β -caroteno como sustrato, o en su caso, pueden formar parte de un campo tecnológico importante a corto plazo. En el caso de la industria de los alimentos, un aspecto importante tiene que ver con proponer nuevas enzimas microbianas POD capaces de soportar condiciones de proceso más extremas para poder ser aprovechadas industrialmente.

5.4. CONCLUSIONES

México es un país diverso en flora y fauna, así como en sus ecosistemas, que lo catalogan en el ámbito mundial como un país megadiverso. Esto hace suponer que el mismo término puede aplicarse si lo relacionamos a la diversidad biológica microbiana. Este recurso natural mucho menos conocido en cuanto a su origen, historia, desarrollo, distribución geográfica y grupos taxonómicos existentes, es un elemento fundamental para el desarrollo y supervivencia de todas las especies de un ecosistema, y para la sostenibilidad de la vida de todo el planeta. Asimismo, la diversidad microbiana puede ser usada para monitorear y predecir cambios ambientales, entendiendo que los microorganismos juegan un papel clave en la conservación de plantas, animales y restauración de hábitats; son un excelente modelo para entender las interacciones e historia evolutiva de todos los seres vivos. En particular, los microorganismos del suelo tienen una gran importancia para mantener la vida en nuestro planeta por esa gran capacidad de poner biodisponibles una gran cantidad de materia que es aprovechada por organismos superiores.

Por otra parte, el estudiar y conocer la diversidad microbiana es importante, porque estos organismos forman parte de comunidades complejas y dinámicas conformadas por numerosas especies. Para comprender su función en sus nichos específicos, es esencial identificar y cuantificar cada uno de los miembros que conforman estas comunidades. Por ejemplo, el análisis de la diversidad genética y metabólica del metagenoma bacteriano de muestras de suelo ha permitido extraer y explotar su diversidad metabólica, incluyendo la de aquellos microorganismos considerados “imposibles de cultivar en laboratorio” y de aquellos aún no descubiertos.

Finalmente, la utilidad de los microorganismos radica en el hecho de que desde hace mucho tiempo se han identificado sus usos en el desarrollo de las comunidades humanas. En épocas más recientes, el desarrollo de la biotecnología ha permitido identificar actividades bacterianas y fúngicas novedosas con aplicaciones biotecnológicas.

lógicas potenciales que han repercutido de manera importante en toda la sociedad.

En este sentido, el CIATEJ le ha dado el valor y la importancia a tres grupos de microorganismos, buscando darles un uso en diversos procesos agroindustriales. El grupo de las levaduras, las bacterias ácido lácticas y el grupo de los actinomicetos, todos ellos con un gran potencial de ser aprovechados para darle valor agregado a productos y sus desechos, buscando innovar procesos eficientes que sean amables con el medio ambiente.

5.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bouvier F, Isner JC, Dogbo O, Camara B (2005). "Oxidative tailoring of carotenoids: a prospect towards novel functions in plants". *Trends Plant Sci.* 10:187-194.
- Bull AT (2004). "Microbial Diversity and Bioprospecting". *ASM Press*. Washington, DC, USA.
- Cockell CS and Jones HL (2009). "Advancing the case for microbial conservation". *Oryx.* 43:520-526.
- Challis GL (2008). "Mining microbial genomes for new natural products and biosynthetic pathways". *Microbiol.* 154:1555-1569.
- Demain AL and Davies JE (1999). *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology* (2nd edition). *ASM Press*, Washington, DC, USA.
- Dykhuizen D (2005). *Species numbers in Bacteria*. Proceedings of the California Academy Sciences. 56 (supplement 1):62-71.
- Jay J (2000). *Modern Food Microbiology* (6th edition). Aspen, Maryland.
- Johnson-Green P (2002). *Introduction to Food Biotechnology*. CRC Press, Boca Raton. Florida, USA.
- Klaenhammer TR (1998). "Bacteriocins of lactic acid bacteria". *Biochimie* 70:337-349.
- Kloer DP and Schulz GE (2006). "Structural and biological aspects of carotenoid cleavage". *Cell Mol Life Sci.* 63:2291-2303.
- Kun LY (2003). *Microbial Biotechnology-Principles and Applications*. World Scientific, USA.
- Moncheva P, Tishkov S, Dimitrova N, Chipeva V, Antonova-Nikolova S and Bogatzevska N (2000-2002). "Characteristics of soil actinomycetes from Antarctica". *J Culture Collections* 3: 3-14.
- Montaño ANM, Sandoval PAL, Camargo RSL y Sánchez YJM (2010). "Los microorganismos: pequeños gigantes". *Elementos.* 77:15-23.
- Murray P, Rosenthal K, Kobayashi G, Pfaller M (1998). *Medical Microbiology* (3rd edition) Mosby, Missouri. USA.

- Quezada F (2007). *Status and potential of commercial bioprospecting activities in Latin America and the Caribbean*. CEPAL-Naciones Unidas, Santiago de Chile. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. Núm. 132, p. 68.
- Reyes-Escogido L, Balam-Chi M, Rodríguez-Buenfil IM, Valdés J y Kameyama L (2010). "Purification of bacterial genomic DNA in less than 20 min using chelex-100 microwave: examples from strains of lactic acid bacteria isolated from soil samples". *Antonie van Leeuwenhoek* 98:465-474.
- Reyes-Escogido L, Rodríguez-Buenfil I, Valdés J, Kameyama L, Saucedo-Cardenas O y Martínez-Pérez F (2012). "A Versalite Metagenome Purification Method to Identify Uncultivable Bacteria by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) from Sediments and Soils". *J Bacteriol Parasitol*, 3:6.
- Sánchez-Contreras A, Jimenez M, Sánchez S (2000). "Bioconversion of lutein to products with aroma". *Appl Microbiol Biotechnol* 54:528-534.
- Schwartz SH (2001). "Characterization of a novel carotenoids cleavage dioxygenase", *J. Biol. Chem.* 276, 25208-25211
- Servin AL (2004). "Antagonistic activities of lactobacilli and bifidobacteria against microbial pathogens". *FEMS Microbiol Rev* 28:405-440.
- Sharma R, Ranjan R, Kapardar RK and Grover A (2005). "Unculturable bacterial diversity: an untapped resource". *Current Science*. 89:72-77. 32.
- Srivibool R and Sukchotiratana M (2006). "Bioperspective of actinomycetes isolates from coastal soil: a new source of actinimicrobial producers". *J Sci Technol* 23: 493-499.
- Supardiyono EK and Smith D (1997). "Microbial diversity: *ex situ* conservation of Indonesian microorganisms". *World J Microbiol Biotechnol* 13:359-361.
- William ST, Sharpe ME and Holt JG (1989). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol.4. Williams and Wilkins Co., Baltimore. USA.
- Ten Kate K (2004). The Convention on Biological Diversity and Benefit Sharing. In: Microbial Diversity and Bioprospecting. Alan TB (Ed.) Capítulo 39. ASM Press. Washington, DC. USA, pp. 431-439.
- Zamudio-Maya M, Narváez-Zapata J, Rojas-Herrera R (2008). "Isolation and identification of lactic acid bacteria from sediments of a coastal marsh using a differential selective medium". *Lett Appl Microbiol* 46:402-407.
- Zorn H, Langhoff S, Sheibner M, Berger RG (2003). "Cleavage of b-carotene to flavor compounds by fungi". *Appl Microbiol Biotechnol*, 62, 331-336.

FLORICULTURA: INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN MICROPROPAGACIÓN, POSCOSECHA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO

Ramos-Díaz A¹, Cano-Sosa J¹, López-Puc G¹,
Uc-Vázquez A¹, Gutiérrez-Mora A², Rodríguez Buenfil I¹
aramos@ciatej.net.mx
irodriguez@ciatej.net.mx

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, ¹Unidad Sureste, calle 30 Núm. 151, interior Canacintra por 7 y 7 A, Col. García Ginerés, Mérida, Yucatán, CP 97070; ²Sede Guadalajara, Normalistas Núm. 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco, CP 44270

6.1. RESUMEN

La floricultura representa una actividad económica valorada en el ámbito internacional en billones de dólares, con una demanda creciente en el mercado mundial, del cual México no figura entre los primeros cinco lugares, pese a que cuenta con una gran biodiversidad y ventajas geoclimáticas. Los principales obstáculos que limitan el desarrollo de la floricultura en México son la carencia de investigación y desarrollo en el área, así como la falta de capital científico y tecnológico de alto nivel. En 2008 se inauguró el Posgrado en Ciencias de la Floricultura en la Unidad Sureste del CIATEJ, para dar solución a los problemas actuales y futuros en el área, con la realización de proyectos de investigación y formación de recursos humanos altamente competitivos. Hoy por hoy, en la Unidad Sureste del CIATEJ se desarrollan proyectos de investigación bajo tres líneas de investigación: micropropagación de especies ornamentales, manejo poscosecha de flores de corte y mejoramiento genético, que buscan no sólo resolver

los problemas del área de producción sino también la generación de nuevas variedades ornamentales con alto potencial decorativo. Cabe destacar que además se desarrollan proyectos orientados a resarcir el daño ocasionado a la biodiversidad, por medio del rescate, multiplicación y reforestación de orquídeas nativas y endémicas de la península de Yucatán.

Palabras clave: Floricultura, Micropropagación, Poscosecha, Mejoramiento genético

6.2. INTRODUCCIÓN

La floricultura es una disciplina de la horticultura orientada al cultivo de flores y plantas ornamentales; representa una actividad de significado económico, turístico y artístico, que es valorada en billones de dólares en el ámbito internacional. En México, la floricultura generó una derrama económica de más de \$35,000 millones de dólares (SPO del estado de Yucatán, 2010), con ganancias hasta 10 veces más altas que las reportadas en hortalizas. En los últimos años, Yucatán incursionó en el sector florícola, cuya demanda en la península yucateca es de aproximadamente 26.5 millones de productos agrícolas ornamentales, los cuales generan más de \$30 millones de pesos al año, por lo que la venta de flores es una de las actividades más productivas en el estado; sin embargo, solamente 5% de éstas provienen de productores locales. Lo anterior se hizo evidente en octubre de 2010, cuando las condiciones climatológicas cerraron el transporte por tierra desde Veracruz, esto provocó una dramática reducción en la cantidad, variedad y calidad de las flores de venta, en especial las de tipo de corte. Es necesario mencionar que los proveedores nacionales surten al ciento por ciento de los comercializadores mayoristas regionales y a un gran porcentaje de los minoristas.

La problemática en el sector florícola en Yucatán se basa principalmente en la falta de paquetes tecnológicos y capacitación técnica y científica para el manejo fitosanitario y la productividad agrícola. En cuanto

a la planeación de la producción, no se han analizado los indicadores sobre la oferta y la demanda, lo que impide trazar estrategias claras de comercialización y, por lo tanto, la producción no cubre la demanda de ornamentales en la península de Yucatán.

A pesar de que la floricultura en el estado de Yucatán es una actividad incipiente, la floricultura y el viverismo se presentan como una opción de desarrollo socioeconómico en la región, ya que permitiría a las familias de bajos ingresos y de zonas marginadas aprovechar sus recursos para realizar una actividad amigable con el medio ambiente y redituable debido a los márgenes de rentabilidad que se pueden obtener. La península de Yucatán tiene una posición geográfica, que le confiere una ventaja estratégica en la exportación en productos agrícolas al situarse entre Estados Unidos de América y Latinoamérica. Para lograr lo anterior, las organizaciones y uniones de productores deben fortalecerse para acceder a financiamientos para la adquisición de nueva infraestructura, así como recibir una adecuada capacitación para el uso de la tecnología avanzada, que permita la reducción de costos y elevar la calidad de los productos para su distribución y comercialización en los mercados nacional e internacional.

6.3. INVESTIGACIONES REALIZADAS

En la Unidad Sureste del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco se inauguró, en 2008, el posgrado en Ciencias de la Floricultura. La investigación desarrollada en el área se concentra en tres líneas: micropropagación de especies ornamentales, manejos poscosecha de flores de corte y mejoramiento genético de especies ornamentales, que a través de la investigación básica y aplicada buscan generar innovación para el sector florícola de la región.

6.3.1. Micropropagación

La micropropagación o cultivo *in vitro* es un método de multiplicación asexual basado en la totipotencialidad que poseen las células

vegetales, es decir, la capacidad de reproducir una planta completa a partir de un explante o fragmento de una planta (Rojas *et al.*, 2004).

La micropropagación en condiciones asépticas y controladas de nutrición, temperatura, humedad y luz, tiene el objetivo de obtener plantas libres de virus y enfermedades, para su reproducción a gran escala (Álvarez, 2011). Dada la demanda que hay de material vegetativo y de nuevas variedades en el ramo florícola, el CIATEJ pretende vincular los resultados de las investigaciones en esta línea al sector productivo. Cabe destacar que el método de micropropagación es útil para multiplicar plantas que se encuentran bajo amenaza o peligro de extinción, para su conservación a mediano y largo plazos. En la Unidad Sureste del CIATEJ se ha desarrollado investigación orientada a la propagación de especies de interés comercial, en vías de extinción o de difícil propagación por otros métodos, clonación de individuos de características agronómicas deseables, producción de semillas sintéticas, así como la conservación de recursos genéticos a través de bancos de germoplasma *in vitro*.

Establecimiento de un banco de germoplasma *in vitro* de orquídeas nativas del estado de Campeche para su aprovechamiento sustentable

La familia Orchidaceae es una de las más diversas morfológicamente y con el mayor número de especies en el mundo. Se estima que cuenta con alrededor de 35,000 especies pertenecientes a 750 géneros, además de miles de híbridos (Jones, 2006). La flora orquideológica de México comprende 1,106 especies y subespecies, distribuidas en 159 géneros. Una de sus características más sobresalientes es la alta proporción de especies endémicas, ya que se han registrado 444 especies endémicas que corresponden aproximadamente a 40% del total de taxa registrados en el país (Soto-Arenas, 1996). Esta característica convierte a la flora orquideológica mexicana en una de las más ricas en endemismos entre los principales países de América tropical, quizá sólo superada por Brasil (Ávila-Díaz y Oyama, 2002).

Las orquídeas son económicamente importantes; así por ejemplo, la vainilla, producto utilizado para dar sabor a muchos alimentos y bebidas, se extrae de una especie de orquídea (*Vanilla planifolia*), además existen algunas especies como la *Gastrodia*, que contienen sustancias con cualidades medicinales. Sin embargo, la principal importancia económica de las orquídeas está representada por el gran auge que tienen en la floricultura, ya que debido a su belleza las orquídeas tienen gran demanda en los mercados nacional e internacional de flores, alcanzando precios elevados, motivo por el cual han sido y son depredadas en todos los lugares donde crecen de manera natural. Los precios de las orquídeas dependen mucho del país y de la especie, pues se pueden encontrar orquídeas desde \$5 hasta \$100 USD. Es de tal importancia del comercio de orquídeas que solamente en Estados Unidos de América representa un mercado de 100 millones de dólares anuales (Dearnaley, 2007).

Las orquídeas se han visto afectadas por la constante destrucción de su hábitat y por el saqueo ilegal, lo que ha ocasionado la pérdida de este recurso y ha disminuido las oportunidades para su aprovechamiento. En el estado de Campeche el cultivo de orquídeas no es una actividad establecida formalmente; se sabe que el recurso se explota de forma ilegal y que la gente que se dedica a esta actividad vende las orquídeas a tan bajo precio que finalmente no es redituable. Debido a la importancia que representa este recurso para nuestro país, específicamente para la península de Yucatán, una alternativa para evitar la pérdida irreparable de esta riqueza es el establecimiento de bancos de germoplasma (conjunto de genotipos que refleja la variabilidad genética de una especie).

La conservación de germoplasma puede realizarse por métodos *in situ* y/o *ex situ*. Los primeros se basan en la conservación de las plantas en su hábitat natural e incluyen la conservación en parques nacionales y en reservas ecológicas, lo cual requiere de un considerable espacio físico e implica altos costos asociados a la necesidad de mano de obra especializada, control permanente de enfermedades y malezas, a la vez que las plantas están expuestas a las inclemencias del clima y de los incendios. Por otra parte, los métodos

de conservación *ex situ* se basan en el mantenimiento del material biológico en bancos de semillas, bancos de cultivo *in vitro*, colecciones de plantas de campo, viveros o jardines botánicos.

La conservación de colecciones de materiales vegetales de reproducción (semillas, polen, propágulos vegetativos, células y tejidos de diferente origen) fuera de su hábitat natural se realiza mediante la aplicación de un conjunto de técnicas que requieren de instalaciones adecuadas denominadas bancos de germoplasma vegetal. En la actualidad, gran parte de los bancos de germoplasma vegetal están dedicados a la conservación de especies de interés agroalimentario, aunque también existen bancos destinados a la conservación de especies de la vegetación natural, especialmente de aquéllas que son raras, endémicas o que se encuentran en peligro de extinción.

Hay tres estrategias para el establecimiento de un banco de germoplasma vegetal mediante el uso de cultivo *in vitro*: la forma tradicional, la criopreservación y el crecimiento mínimo (Yung-Peng *et al.*, 2012). La forma tradicional incluye un amplio espectro de técnicas que implican el cultivo, bajo condiciones de asepsia, de órganos o fragmentos de órganos (meristemos, semillas, embriones somáticos, embriones cigóticos, hojas, tallos, raíces, yemas, polen, anteras, callos o protoplastos), en un medio de cultivo artificial definido, bajo condiciones ambientales controladas. De los tipos de cultivo anteriormente mencionados, se sabe que el de nudos y brotes permite mantener sin alteraciones el genotipo de las plantas propagadas. Este tipo de cultivo *in vitro* también puede ser utilizado para mantener los genotipos por un largo periodo de tiempo. Sin embargo, esto resulta costoso si se utilizan los métodos normales de cultivo, dado que esto involucra subcultivos frecuentes y mayor espacio para almacenar el material; por lo que el objetivo es aumentar al máximo el periodo de transferencia del cultivo, disminuir costos de espacios y de materiales para el cultivo, para ello se usa el método de crecimiento mínimo o lento crecimiento, el cual ha sido utilizado como una alternativa para la conservación de germoplasma de especies recalcitrantes. Hay cuatro estrategias utilizadas para el crecimiento mínimo: (1) la reducción de la temperatura de incubación, (2) la manipulación

del medio de cultivo, (3) la combinación de los métodos 1 y 2, y (4) la modificación del ambiente gaseoso.

El establecimiento de un banco de germoplasma mediante el método de crecimiento mínimo, siguiendo la estrategia de manipulación del medio de cultivo, se puede lograr enfocándose principalmente a la disminución de los carbohidratos y de los nutrientes (Gunning y Lagersdet, 1986), o al uso de otras fuentes de carbono alternas como manitol y sorbitol para suplementar los medios de cultivo. Estas sustancias se caracterizan por producir en sentido general un estrés osmótico que reduce el crecimiento de las microplantas. El principio de esta metodología se basa en las manipulaciones de las condiciones de cultivo/medios de cultivo, lo cual permite a los cultivos permanecer viables, pero con una tasa de crecimiento muy baja.

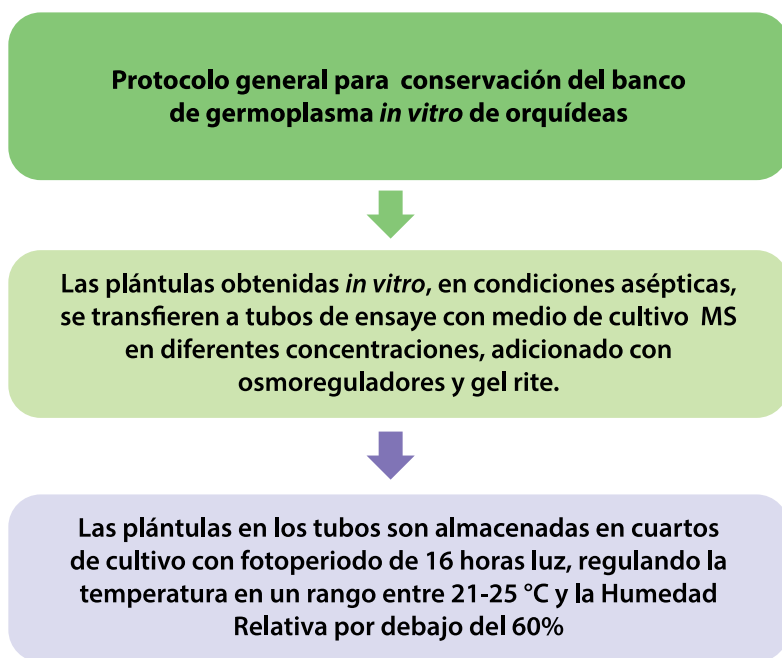


Figura 1. Protocolo general para conservación del banco de germoplasma *in vitro* de orquídeas

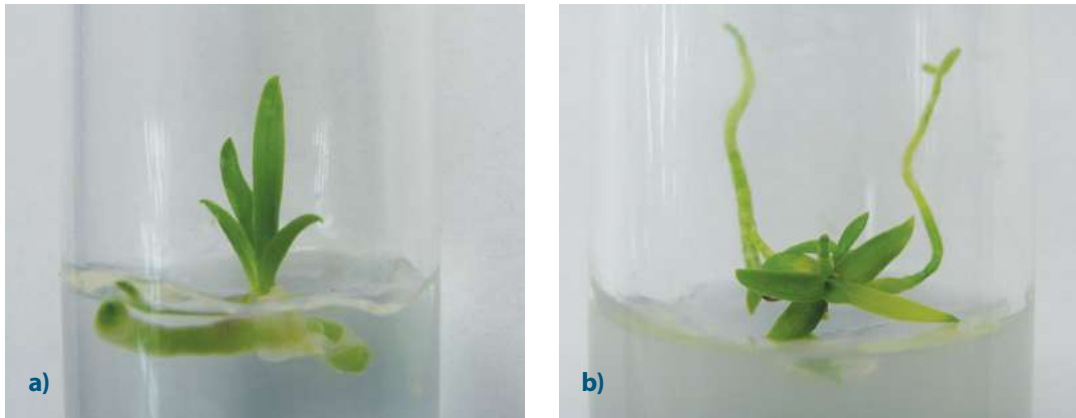


Figura 2. Banco de germoplasma *in vitro* de orquídeas.

(a) *Epidendrum stamfordianum* Bateman; (b) *Encyclia bractescens* (Lindley) Hoehne

El uso de métodos de crecimiento mínimo se ha reportado para conservar germoplasma elite de diferentes especies en peligro de extinción. Sin embargo, la correcta aplicación de las metodologías de crecimiento mínimo requiere del establecimiento de protocolos específicos (Goncalves y Romano, 2007). En las orquídeas el uso de esta técnica ha permitido incrementar el tiempo de almacenamiento por más de 20 meses sin tener que realizar subcultivos (Martin *et al.*, 2003).

La contribución técnica del proyecto fue la conservación *ex situ* del banco de germoplasma de orquídeas, utilizando medio de cultivo suplementado con sustancias osmorreguladoras cuya respuesta varía dependiendo de la especie; en la Figura 1 se muestra el protocolo general utilizado para la conservación *in vitro*, permitiendo tener material vegetal disponible para la reintroducción a su hábitat de las especies que lo conforman en caso de ser requerido por algún desastre natural; también podrán ser utilizadas para su uso comercial, conllevando a un manejo sustentable de estos recursos genéticos, para la utilización directa por parte de los agricultores e indirectamente por parte de los mejoradores y otros investigadores. En el presente proyecto se estableció un banco de germoplasma conformado por 14 especies nativas de la península de Yucatán (Figura 2), cuyas características ornamentales de algunas de ellas se aprecian en la Figura 3.



(Figura 2) Continuación... (c) *Lophiaris oerstedii* (Rchb. f), Jiménez, Carnevali y Dressler; (d) *Vanilla planifolia* Jack; (e) *Bletia purpurea* (Lam.) DC.; (f) *Encyclia guatemalensis* Klotzsch Dressler & G.E. Pollard



Figura 3. Flores y follaje de especies conservadas en el banco de germoplasma. (a) *Epidendrum stamfordianum* Bateman; (b) *Prosthechea cochleata* (Lindley) W.E. Higgins; (c) *Encyclia nematocaulon* (A. Rich.) Acuña; (d) *Lophiaris lindenii* (Brongniart) Brongniart; (e) *Catasetum integerrimum* Hooker



(Figura 3) Continuación... (f) *Brassavola venosa* Lindley; (g) *Encyclia guatemalensis* Klotzsch Dressler & G.E. Pollard; (h) *Encyclia bractescens* (Lindley) Hoehne; (i) *Lophiaris oerstedii* (Rchb. f), Jiménez, Carnevali y Dressler; (j) *Ryncholaelia digbyana* (Lindley) Schlechter.

Propagación *ex situ* de *Bletia purpurea* y *Habernaria bractescens*, especies en peligro de extinción, a través de semillas sintéticas, para su reintegración a los ecosistemas del estado de Campeche

Las especies de orquídeas son de importancia debido a su belleza y potencial comercial, por lo que muchas veces sufren de saqueos o tráfico de especies en su hábitat, lo que ha generado una disminución drástica de sus poblaciones en el territorio nacional, poniendo en riesgo su viabilidad biológica. Este proyecto surgió en respuesta a la demanda de diseño y experimentación de paquetes tecnológicos para la reproducción *ex situ* de especies en peligro crítico de extinción en los ecosistemas de Campeche, de acuerdo con la convocatoria 2009-I del Fondo Mixto del Estado de Campeche, en el cual se planteó la posibilidad de regenerar y reintegrar a sus ecosistemas plantas de *Bletia purpurea* y *Habernaria bractescens*, las cuales son especies catalogadas como bajo amenaza y en peligro de extinción, respectivamente, según la NOM-059 Semarnat-2001. Esto, mediante el establecimiento de una metodología para la propagación *ex situ* de estas especies de orquídeas, y la producción de semillas sintéticas; es importante destacar que ambas especies se encuentran bajo conservación en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, en el estado de Campeche.

La orquídea *Bletia purpurea* posee de 3 a 5 hojas, de 8-9 cm de altura por 4 a 6 cm de ancho, con inflorescencia de 50 a 150 cm de altura y hasta 5 flores de diversos colores, entre los que se pueden mencionar el rosa, blanco, magenta y amarillo (Lacroix, 2008), esta especie es de gran valor debido a la belleza de sus flores, Figura 4 (a).

Habernaria bractescens es una orquídea catalogada como terrestre, sus raíces son adventicias, llega a medir entre 80 y 90 cm de altura y presenta una inflorescencia compuesta por 5 a 10 flores de color blanco verdoso, Figura 4 (b). Por la noche sus flores exhalan un suave perfume cítrico. Florece en los meses de agosto a diciembre. Durante el invierno la parte vegetativa muere, conservándose un engrosamiento semejante a un tubérculo enterrado en el barro y que produce una nueva planta al comienzo de la primavera (Lacroix, 2008).



Figura 4. Fotografía en estado silvestre de:
(a) *Bletia purpurea* y (b) *Habernaria bractescens*

El desarrollo de metodologías para la propagación *ex situ* de especies en peligro de extinción y su reincorporación a los ecosistemas naturales es de vital importancia para contrarrestar la disminución del tamaño de sus poblaciones en el territorio nacional, debido a que su viabilidad biológica en su hábitat natural está en riesgo; esto, provocado por factores como la destrucción o modificación drástica del hábitat, o el aprovechamiento no sustentable.

El presente proyecto consta de dos etapas anuales y la primera inició con la colecta del material vegetal, para lo cual se visitaron zonas del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, municipios de Ciudad del Carmen y zonas de Calakmul. Una vez colectados los ejemplares, se procedió a establecer su cultivo *in vitro*, utilizando para ello semillas y explantes de tallo y hoja. En el transcurso de la primera etapa se logró el establecimiento del cultivo de *Bletia purpurea*, se obtuvieron brotes a partir de explantes de esta planta y a partir de ellos se obtuvieron semillas sintéticas.



Figura 5. (a) Semilla sintética de *Bletia purpurea*, (b) Germinación de semillas sintéticas de *B. purpurea*. (c) Plántulas germinadas a partir de semillas sintéticas de *B. purpurea*

Las semillas sintéticas germinaron con éxito en cultivo *in vitro* y se tienen plántulas obtenidas a partir de éstas, tal como se muestra en la Figura 5. En la segunda etapa del proyecto, actualmente en curso, nos estamos enfocando en lograr el establecimiento del cultivo *in vitro* de *Habernaria bractescens* para lograr su micropropagación y obtener semillas sintéticas. Las plántulas micropropagadas serán aclimatadas, para posteriormente ser transferidas a campo para su reingreso a ecosistemas del estado de Campeche.

Es importante destacar que hasta el momento se ha logrado la identificación de especies vegetales en peligro de extinción en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, que ha permitido la elaboración de un listado. También se han establecido las condiciones para la propagación *in vitro* de *Bletia purpurea* y para la obtención de semilla sintética a partir de brotes. Se publicó un artículo de divulgación científica nacional en colaboración con un estudiante de maestría, asociado al proyecto (Miss Morales E y Cano Sosa J, 2012).

Estudios y caracterización del comportamiento morfogénico *in vitro* de tres genotipos del género *Anthurium*

El género *Anthurium* es uno de los más diversos de la familia Araceae, conformado por más de 1,000 especies. El término “flor” de anturio se utiliza para referirse al producto comercial formado por la espata y espádice (Figura 6). La espata del *Anthurium* es en realidad una bráctea modificada, a partir de la cual emerge una inflorescencia llamada espádice (Higaki *et al.*, 1984). Las flores verdaderas del anturio son diminutas y se encuentran en gran cantidad en el espádice.

Varias especies del género *Anthurium* son cultivadas por sus hermosas flores (Martin, 2003), que son apreciadas por tener una forma característica, colores vistosos y por tener una vida poscosecha larga (Gaitait y Mandal, 2010), motivo por el cual hay una gran demanda ya que son utilizadas como flor de corte para decoración, lo que ha llevado a un incremento considerable de la producción comercial de plantas de anturio y su importancia económica ha aumentado en las dos últimas décadas, y se tienen perspectivas de que seguirá creciendo tanto en el ámbito local como en el internacional (Gantait y Mandal, 2010).

Tomando en cuenta que es necesario satisfacer el incremento de la demanda que hay para abastecer el mercado, y que por otra parte la industria de la floricultura está enfocada al desarrollo de nuevas variedades de colores y formas, y que el anturio es susceptible al ataque de plagas y enfermedades, es conveniente realizar estudios de mejoramiento biotecnológico. Una alternativa para llevar a cabo esto es



Figura 6. Flor de *Anthurium andreae*
cultivar Bárbara

el uso de técnicas de ingeniería genética, las cuales tienen como prerrequisito el establecimiento de sistemas de regeneración a través de la morfogénesis. Las dos rutas morfogénicas primarias que controlan la regeneración de una planta completa involucran a la embriogénesis somática y la organogénesis.

Los procesos morfogénicos se basan en la totipotencia, característica que teóricamente tienen todas las células vegetales para desarrollar nuevos individuos. La inducción de las células a diferentes programas morfogénicos es resultado de la desdiferenciación que experimentan ante la presencia de un estímulo, seguido de un programa de desarrollo de órganos. Los estímulos que se imponen a las células vegetales durante el cultivo *in vitro*, pueden inducir patrones morfogénicos, dando lugar a una reprogramación ontogénica que, mediante la división mitótica, activa, da lugar a nuevas estructuras, tales como callos, raíces, brotes y embriones.

El principal obstáculo para la aplicación exitosa de la ingeniería genética es la poca capacidad que hay para controlar la morfogénesis y la regeneración *in vitro*, esto ha limitado el uso del cultivo de tejidos vegetales (CTV) para la micropropagación a gran escala y para la regeneración de especies que han sido transformadas genéticamente (Duong, 2003). Una alternativa para superar esta limitante es complementar los estudios de CTV con estudios del sistema de cultivo de capa delgada de células (TLC, por sus siglas en inglés). En especies que han mostrado recalcitrancia, es decir, que la aplicación de las técnicas comunes de CTV no ha dado buenos resultados, la aplicación del sistema TLC ha permitido superar estas dificultades.

El sistema TLC fue descrito por primera vez en tabaco como un modelo eficiente para el estudio de los mecanismos que controlan la morfogénesis (Tran Thanh Van, 1973) y para la transformación (Tran Thanh Van *et al.*, 2000); ha demostrado su eficacia en muchas especies dicotiledóneas (Bui *et al.*, 1998a) y monocotiledóneas (Nhut *et al.*, 2000b). Para comprender la razón del éxito del sistema TLC frente a las técnicas convencionales de CTV es necesario revisar algunos aspectos: La diferenciación de las plantas incluye eventos que dan como resultado una compleja interacción entre diferentes órganos, tejidos y células. El análisis molecular del mecanismo de diferenciación es difícil debido a que no se conoce bien la naturaleza de las señales que generan la morfogénesis, no se conoce la localización de los blancos, ni cómo las células de las plantas perciben y procesan las señales para la diferenciación. Esta falta de conocimiento puede ser superada en los sistemas TLC, ya que el tamaño del explante utilizado es pequeño, así como el número de células, reduciendo al mínimo la influencia de factores endógenos en la respuesta morfogénica, de esta forma las células responsivas no están dispersas, como se observa en los organismos heterogéneos (órganos o callos). Este sistema puede ser aplicado para el mejoramiento genético, a través de la transformación de especies cuyas rutas de desarrollo puedan ser controladas por el cultivo de capas de células cortadas longitudinalmente (ITLC) o transversalmente (tTLC) a partir de diferentes tipos de órganos (hojas, pecíolos, rizomas, bulbos y órganos florales: pétalos, anteras, pistilos). El tamaño de la capa es de μm a varios

mm, dependiendo del tipo de órgano; es un sistema simplificado que mantiene un mínimo de interacción tejido-célula. Además, el número reducido de células permite a los TLC tener más contacto con las moléculas señal o el ADN de genes foráneos insertados durante la transformación genética. Las señales químicas utilizadas para los TLC pueden inducir patrones morfogénicos, dando lugar a una reprogramación ontogénica que mediante la división mitótica activa da lugar a nuevas estructuras tales como raíces, brotes, embriones. La aplicación de este sistema ha permitido dar mayor peso al CTV y a las industrias biotecnológicas y se ha aplicado con éxito en especies ornamentales como el crisantemo (Teixeira da Silva, 2003) y en lilis (Duong *et al.*, 2001).

En el presente proyecto se están realizando estudios de sistema TLC para la inducción de organogénesis indirecta a partir de hojas de plantas de vivero de tres cultivares de *A. andreaenum*; por otra parte se logró la inducción de brotes y la multiplicación por medio de cultivo de tejidos convencional en *A. andreaenum* cv Midori (Figura 7).



Figura 7. Multiplicación *in vitro* *A. andreaenum* cultivar Midori

6.3.2. Manejo poscosecha de plantas ornamentales

En las labores de cosecha y poscosecha de las flores de corte, gran parte del material se pierde debido a la falta de manejo técnico y al desconocimiento de la fisiología de la planta. El concepto de Manejo Poscosecha hace referencia al conjunto de prácticas posproducción que incluyen la limpieza, lavado, selección, clasificación, desinfección, empaque y almacenamiento de flores de corte, que se aplican para eliminar elementos no deseados, para mejorar la presentación del producto, aumentar la vida en anaquel, cumplir con normas de calidad y como exigencias fitosanitarias de mercados extranjeros.

Las prácticas poscosecha están directamente relacionadas con manejo y control de variables como la temperatura y la humedad relativa, selección y uso de empaques, y la aplicación de tratamientos suplementarios, entre otros (Riveros *et al.*, 2006). El adecuado manejo poscosecha de las flores de corte aumenta su vida en anaquel por periodos prolongados.

Mejoramiento del manejo poscosecha de nardo y gladiolo

La industria global de flores de corte excede los \$27 billones de dólares, según los reportes anuales de ventas (Chandler, 2003). Los principales países importadores de flores son Alemania, Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Italia y Japón. Mientras que los principales países exportadores son Holanda (60%), Colombia (10%), Italia (6%) e Israel (4%), y el 20% es cubierto por el resto de los países, siendo que el mercado de las flores de corte abarca cerca de la tercera parte del valor global del mercado de la floricultura (Tanaka *et al.*, 2005).

En el estado de Morelos, el gladiolo y el nardo se encuentran entre los principales cultivos ornamentales comercializados como flores de corte. La producción anual de gladiolos en México es de 3,805,635 toneladas. Morelos representa el 27% de la producción nacional, tiene una superficie de siembra de 876.5 hectáreas (ha), 873.5 ha de cosecha, con una producción de 1,028,665 toneladas, con un valor

de producción de \$107,728,550 (SIAP, Sagarpa, 2007). En México el gladiolo se produce también en los estados de Guerrero, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz. La presentación para la venta es en ramos de seis docenas (media gruesa), o doce docenas (una gruesa), sin ninguna cubierta.

La producción anual de nardos en México es de 364,160 toneladas. Morelos representa el 72% de la producción nacional, con una superficie de siembra 413 ha, 338.4 ha de cosecha, con una producción de 261,470 toneladas con un valor de \$31,860,150 (SIAP, Sagarpa, 2007). En México el nardo se produce también en los estados de Guerrero, México, Veracruz y Yucatán. Debido a su popularidad, en países como Kenya, India, Nueva Zelanda y México cultivan nardos comercialmente y los exportan a Estados Unidos de América y a Japón (Waithaka *et al.*, 2001 b). El nardo es cultivado para su uso en la industria del perfume en India y Francia (Sandrasagarren y Reid, 2000).

La característica más importante de calidad en las flores de corte en general, junto con los atributos estéticos, es la vida de florero. En especies como el nardo, la apertura de flores en las varas cosechadas también es importante. La expansión en la producción de flor de corte de nardo se ha obstaculizado por la abscisión prematura, el aborto de las flores y por la corta vida de florero de las flores abiertas en una vara (Hutchison *et al.*, 2003).

Una vez cosechadas, las flores experimentan cambios fisiológicos que a menudo conllevan a la senescencia. Para retrasar este proceso hay que considerar aspectos de manejo como: clasificación, limpieza (eliminación de hojas en mal estado), agrupamiento, recorte, hidratación, tratamientos especiales, empaque, preenfriamiento, enfriamiento y transporte al mercado. El seguimiento correcto de cada uno de los pasos anteriores influirá en la calidad y longevidad de las flores.

Las flores de corte tienen una vida de florero corta. En pocos días después de la cosecha, se observa decoloración de los pétalos, pardeamiento del tejido, pérdida de partes de la flor y generalmente ocurre la senescencia total. Estos eventos afectan significativamente el valor

comercial. Las principales razones por las cuales las flores no duran son: (a) agotamiento del alimento; (b) ataque de hongos y bacterias; (c) marchitamiento por estrés hídrico y bloqueo del xilema; (d) fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento y transporte; (e) acumulación de etileno.

El marchitamiento por estrés hídrico se genera porque la transpiración excede a la ingesta de agua, desarrollándose una resistencia al flujo de agua en los tallos. Esta resistencia puede ser atribuida a oclusiones microbianas, bloqueo fisiológico vascular. El déficit hídrico es causado por una reducción en la capacidad de mantener el agua en el tejido floral debido a cambios fisiológicos asociados con la senescencia a nivel celular (Texeira da Silva, 2003).

Por lo tanto, las recomendaciones generales para incrementar la vida útil de las flores de corte son: (a) el almacenamiento en frío para mantener las temperaturas óptimas que retardan la maduración, envejecimiento y ataque de hongos y bacterias; (b) el uso consistente de preservantes florales, manejo cuidadoso y buena sanitización solventarán los problemas de agotamiento de alimento, pobre calidad del agua, las magulladuras, marchitamiento y ataque de hongos y bacterias; (c) la acumulación de etileno puede ser manejado usando tiosulfato de plata, teniendo buenas prácticas de sanitización y buena ventilación (Texeira da Silva, 2003; Waithaka 2001, a, b; Singh y Kumar 2008).

Entre las estrategias que se pueden seguir para prolongar la vida de anaquel de las flores y de esta forma evitar pérdidas, se encuentra la alternativa del uso de empaques que contengan una atmosfera modificada (MAP, por sus siglas en inglés), la cual es una tecnología utilizada en vegetales y en algunas especies ornamentales como flores de corte de anturio, clavel, lily y tulipanes (Luo *et al.*, 2004). MAP es efectivo para mantener la calidad a través de sus efectos en la modificación de la composición del gas en el empaque (el grado de la modificación de la atmósfera es consecuencia de la concentración de O_2 y CO_2 y la tasa de transferencia de gas dentro del material del empaque (Al-Ati y Hotchkiss, 2002, Mir y Beaudry, 2004).

Hay varios factores que afectan la atmósfera final del empaque, incluyendo temperatura, peso del producto y área de superficie del empaque (Bell, 1996).

El sistema de MAP puede incrementar la vida de florero. En las MAP, los gases se eliminan o se añaden para crear una composición atmosférica alrededor del producto, que es diferente a la del aire (8.08% de nitrógeno, 20.95% de oxígeno y 0.03% de bióxido de carbono). Generalmente se reduce la concentración de oxígeno o se incrementa el bióxido de carbono.

De acuerdo con Kader (2002), los efectos benéficos de las MAP incluyen: (a) retraso de la senescencia asociado a cambios bioquímicos y fisiológicos, como la reducción en la tasa de respiración, la tasa de producción de etileno y el ablandamiento; (b) reducción de la sensibilidad al etileno que se da a niveles de oxígeno menores de 8% y de bióxido de carbono arriba de 1%; (c) alivio de ciertos desórdenes fisiológicos como el daño por frío; (d) las MAP pueden afectar los patógenos poscosecha y, por consiguiente, afectan la presencia de pudriciones; el incremento de niveles de bióxido de carbono a 10-15% inhibe el desarrollo de algunos hongos.

De Pascale *et al.* (2005) evaluaron tres diferentes mezclas, una con oxígeno (78% N₂ /21% O₂/ 0.03% CO₂) y dos sin oxígeno (100% N₂ y 90% N₂/ 10% CO₂) a 4±1 °C. Encontraron que las variedades de gerbera «Dino» e «Iglloo» tuvieron la mayor vida de anaquel cuando se empacaron en la mezcla con oxígeno, en comparación con el control sin empaque. En cambio Liliun, empacado por tres días en MAP, tuvo una vida de florero similar al control. Estos autores mencionan que aunque las MAP pueden extender significativamente la vida de florero, se requiere verificar los efectos del empaque en especies y cultivares específicos.

El manejo poscosecha es aún más difícil cuando se tiene que exportar o vender en puntos lejanos del punto de cosecha, por lo cual es importante estudiar los efectos de la temperatura y la duración del almacenamiento sobre la vida de florero. El enfriamiento es uno de

los pasos más importantes en el manejo poscosecha. El almacenado en frío es recomendado para todas las flores que no serán vendidas inmediatamente y flores que vayan ser vendidas a mayoreo.

El uso de bajas temperaturas permite extender la vida de anaquel mediante la reducción de la respiración. El enfriamiento es uno de los pasos más importantes, y aporta muchas ventajas que permite extender la vida de florero mediante la reducción de la respiración y ruptura interna de enzimas, reducción de la pérdida de agua y la marchitez, disminución del crecimiento de organismos y de la producción de etileno, permitiendo aumentar el tiempo para la manipulación, empaque y mercadeo.

El manejo actual que se da a las varas florales del nardo y gladiolo en Morelos presenta deficiencias, ya que los productores no tienen la infraestructura para manejar la cadena de frío y hace falta la capacitación de manejo. En un diagnóstico poscosecha realizado por personal del CIATEJ, los productores estiman una pérdida de 10%, y consideran necesario contar con algún método para prolongar la vida de las flores. El manejo, almacenamiento y mercadeo de las flores es elemental para tener productos de calidad para exportación. Otros estudios que se realizan en este proyecto están enfocados a evaluar el efecto de diferentes sustancias en la vida de florero (Figura 8) y el uso de diferentes mezclas de gases para empacar el nardo y gladiolo con la finalidad de incrementar la vida de anaquel (Figura 9).

6.3.3. Mejoramiento genético

El concepto de mejoramiento genético no es un término que describa únicamente la transformación genética de las plantas, también describe las prácticas tradicionales que durante siglos se han realizado en forma tradicional por cruza y polinización cruzada. Estas prácticas tienen el objetivo de modificar algunas características fenotípicas que permitan la generación de plantas sanas, vigorosas y de una alta productividad. Otra aplicación del mejoramiento genético es la generación de nuevas variedades, por medio de ingeniería genética,



Figura 8. Estudios de vida en el florero. (a) Preparación de varas; (b) Adición de tratamientos; (c) Evaluación del efecto de los diferentes tratamientos bajo condiciones controladas de temperatura

o por domesticación de plantas silvestres con potencial ornamental, en especial si se considera exótica, pronostica no sólo una posición en un mercado saturado, también el valor de las plantas puede multiplicarse dependiendo de su singularidad (Castañón, 2002; Ferrante *et al.*, 2010; Izquierdo, 2000).

En México, por medio del mejoramiento genético por cruza, se han obtenido diferentes variedades de Cempasúchil y Dalia (Mejía, 2010), sin embargo, éstas no han sido explotadas a nivel comercial, ya que son producidas por centros de investigación con fines únicamente experimentales, por lo tanto la mayoría de las plantas orna-



Figura 9. Aplicación de atmósfera modificada de empaque en nardo y gladiolo. (a) Inyección de gases en Campana Multivac C-200; (b) Análisis de gases en el interior del empaque; (c) Gladiolo en empaque con atmósfera modificada.

mentales cultivadas en México son importadas (García *et al.*, 1999). Actualmente, en Yucatán muchos productores de plantas ornamentales realizan mejoramiento genético ornamental sin éxito, debido principalmente a que no cuentan con las herramientas necesarias para realizar análisis genómicos que les permitan realizar la segregación adecuada con marcadores genéticos relacionados con caracteres morfológicos de interés. El mejoramiento genético de plantas ornamentales es una de las líneas de investigación a la que el CIATEJ dirige sus investigaciones, uno de los proyectos tiene como objetivo modificar el color de los capítulos de crisantemos, para generar nuevas variedades con alto valor comercial.

Estudios moleculares y bioquímicos para la modificación de la ruta de biosíntesis de las antocianinas en crisantemo (*Dendranthema grandiflorum* Tzvelev)

El crisantemo (*Dendranthema grandiflorum* Tzevelev) es uno de los cultivos ornamentales más importantes en México y en el mundo, sólo después de la rosa y el clavel (Teixeira da Silva, 2003). El Estado de México es líder en producción de crisantemos (Vences-Contreras *et al.*, 2009), siendo las variedades: Eleonora, Indianápolis, Puma, Margarita, Polar, Spider y Vikingo las más cultivadas en la región (Valle-Sandoval *et al.*, 2009).

El color de las flores se debe principalmente a tres tipos de pigmentos: flavonoides, carotenoides y betalainas, de los cuales las antocianinas, un grupo de flavonoides, son los más comunes y contribuyen en la formación del color en los rangos de amarillo a rojo y azul (Tanaka *et al.*, 2005; Yoshida *et al.*, 1995). El color final de una flor se debe generalmente a una combinación de varios factores, incluyendo el tipo de antocianinas acumulada, modificaciones a la molécula de la antocianina, Co-pigmentos y pH vacuolar (Yoshida *et al.*, 1995; Tanaka *et al.*, 2005). Cada uno de estos factores está regulado por un número de genes, muchos de los cuales han sido clonados y caracterizados (Holton *et al.*, 1993; De Vetten *et al.*, 1999; Schoenbohm *et al.*, 2000; Fukuchi-Mizutani *et al.*, 2003; Togami *et al.*, 2006), lo anterior posibilita la transferencia de genes de una especie a otra para manipular la pigmentación floral (Ueyama *et al.*, 2006; Katsumoto *et al.*, 2007). Esto último es importante, sobre todo en aquellas especies en las cuales las variedades en el color de la flor están limitadas por el pool de genes de la misma especie, imposibilitando obtener el color de interés mediante las técnicas de mejoramiento genético tradicional a través de cruces de individuos de la misma especie.

Tanaka *et al.* (2005) mencionan que el gen (f3'-5'h) que codifica para la enzima Flavonoide 3'-5' hidroxilasa (F3'-5'H) no está presente en el crisantemo, por lo que pigmentos tipo delphinidina no se encuentran en los pétalos; así mismo, pigmentos tipo pelargonidina se encuentran rara vez en los pétalos. Otros autores mencionan que la ausencia

de pelargonidina se debe a la actividad de la enzima Flavonoide 3' hidroxilasa (F3'-H), ya que cuando dicha actividad fue bloqueada por un inhibidor de Citocromo p450, se produjeron pigmentos de pelargonidina en los pétalos, sugiriendo que la regulación de la actividad de la F3'-H permitirá la producción de pelargonidina (Schiminn *et al.*, 1994).

Los genes *f3'5'h* y *f3'h* codifican enzimas de la familia P450, los cuales catalizan la hidroxilación de dihidrocanferol (DHC) para formar dihidroquercetina y dihidromiricetina, respectivamente. Los productos de estos dos genes determinan el patrón de hidroxilación del anillo B de los flavonoides y antocianinas, y son necesarios para la producción de cianidina y delfinidina, respectivamente. Estas dos enzimas son claves en la determinación de la estructura de antocianinas y, por lo tanto, en el color de la flor, tal como demuestran los trabajos de Katsumoto y colaboradores (2007) al inducir la acumulación de delfinidina en 95% y obtener variedades de rosa color azul mediante la inserción del gen *f3'5'h*, la cual codifica para la flavonoide 3'5' hidroxilasa, una enzima clave para la biosíntesis de delfinidina y cuya acumulación condiciona la aparición del color azul (Holton *et al.*, 1993). Un experimento similar realizado en verbena confirmó que la transformación con el gen F3'5' H aislado de verbena híbrida cultivar temari y de clitoria incrementó el contenido de delfinidina, sin embargo, las plantas transformadas con el gen de clitoria indujeron un color violeta claro, a diferencia de las plantas transformadas con el gen de verbena (Togami *et al.*, 2006), sugiriendo que el origen del transgene también debe considerarse para manipular la vía de síntesis de las antocianinas para inducir la aparición de un color determinado.

Tomando en cuenta las evidencias anteriores, en el CIATEJ Unidad Sureste se trabaja en el aislamiento de los genes *f3'-5'-h* y *f3'h* a partir de una especie silvestre del género *Comelina* (Figura 10) con flores azules (*C. erecta*), el objetivo es modificar el color de la flor del crisantemo mediante la inserción del gen (aislado de *Comelina*) que codifica para la F3'5'H, de esta manera se espera inducir la hidroxilación del hidrocanferol a dihidromiricetina, la cual conduce a la acumulación de delfinidina, responsable del color azul en las flores.



Figura 10. Algunas de las especies silvestres con potencial ornamental: *Comelina difusa* (a) y algunas variedades de crisantemo (b) 1. Puma, 2. Aravela, 3. Argentinas, 4. Polaris white, 5. Spider, (c) 6. Yoko verde, 7. Conchas, 8. Yoko rojo, 9. Moreliana dorada, 10. Moreliana, con las que se trabaja en la Unidad Sureste del CIATEJ

Por otro lado, el silenciamiento del gen que codifica para la F3'-H mediante ARNi reducirá el desvío del dihidrocanferol para la formación de dihidroquercitina y finalmente a cianidina. Lo anterior inducirá la formación de dihidromericitina, provocando la acumulación de delphinidina responsable del color azul. Consideraciones adicionales tales como la medición del pH vacuolar en pétalos de 21 variedades de crisantemo (FIG. 10) y determinación del tipo y concentración de antocianinas en los mismos órganos han sido evaluados con el objeto de seleccionar la variedad de crisantemo con mayor potencial para mantener la concentración de delphinidina después de la transformación de la planta. De los resultados obtenidos hasta el momento, y con apoyo en los reportes realizados en otras especies, se han elegido dos variedades de crisantemo cuya característica es presentar un pH elevado cercano al neutro, baja concentración de cianidina y concentración no detectable de pe-largonidina mediante HPLC.

6.4. CONCLUSIONES

El potencial de la floricultura como detonante económico de una región es innegable, cada día más empresas agrícolas se enfocan al cultivo de plantas ornamentales. Sin embargo, en la región sureste del país los casos de éxito en la producción de plantas ornamentales son reducidos, esto es debido principalmente a la falta de conocimiento sobre el manejo y cultivo de estas especies vegetales. Por lo tanto, los estudios dirigidos a generar información que permita aumentar la productividad u obtener nuevas variedades a corto plazo deben realizarse con mayor regularidad.

En Unidad de Sureste del CIATEJ se desarrollan líneas de investigación orientadas al sector agrícola, con énfasis en la floricultura, a través de investigación y desarrollo tecnológico, en diferentes líneas de investigación: micropropagación, manejo poscosecha y mejoramiento genético vegetal de especies ornamentales.

Micropropagación

La investigación desarrollada de esta línea está orientada al desarrollo de protocolos de producción masiva de especies vegetales de interés comercial y/o ecológico. Los investigadores de la Unidad Sureste del CIATEJ han contribuido en el desarrollo de protocolos de propagación, conservación *in vitro* y para reforestar más de 15 especies de orquídeas nativas y endémicas de la península de Yucatán, que se han clasificado como amenazadas o en peligro de extinción, y que tienen potencial para ser explotadas comercialmente.

El anturio es considerado una especie ornamental con gran aceptación en el mercado internacional, sin embargo, el ciclo de vida de la planta es lento, por lo que se ha optado por la reproducción *in vitro*, pero para lograr una exitosa propagación es necesario la obtención de conocimiento básico de su comportamiento morfogénico, que posteriormente pudiera ser aplicado para la obtención de protocolos de regeneración, como un método alternativo para incrementar la producción de variedades elite del género anturio.

Manejo poscosecha de plantas ornamentales

La importancia que representa el cultivo y la comercialización de nardo y gladiolo para el estado de Morelos conllevó a realizar estudios para mejorar la calidad del material, ya que al aumentar la vida de anaquel se incrementan las posibilidades de incursionar en nuevos mercados de exportación.

Mejoramiento genético

En esta línea de investigación se utilizan herramientas biotecnológicas para la generación de nuevas variedades de ornamentales, lo cual es una opción viable para mejorar la competitividad del sector florícola de México. La investigación sobre las rutas de biosíntesis de los pigmentos florales permitirá la generación de nuevas variedades, con una gama de

colores de flor que pudieran darle un valor agregado en el mercado, además de la aportación de conocimiento básico en el área biotecnológica.

6.5 PROSPECTIVA

Mejoramiento genético de *Jatropha* para generar al menos una variedad con alto rendimiento agronómico, alto contenido de aceite y baja toxicidad para la obtención de biodiesel

En la línea de mejoramiento genético se trabajará con especies vegetales de importancia agronómica, como *Jatropha curcas*, que es reconocida por su potencial como fuente de energía alterna ya que el biodiesel extraído de las semillas de esta planta puede usarse para el funcionamiento de tractores, maquinaria agrícola, barcos de pesca, generación de energía eléctrica, entre otros. Además de sus propiedades energéticas, puede ser utilizado también para fabricar látex, jabón, pesticida natural, acondicionador y colorante para el cabello. También la industria farmacéutica realiza investigación para desarrollar diversos medicamentos, ya que se le atribuyen propiedades curativas contra el cáncer, reumatismo, dermatitis, sarna, lepra, diarrea, dolor de estómago, entre otras (Thomas *et al.*, 2008).

En lo que se refiere a mejoramiento genético, hay programas que han realizado la selección de genotipos de elite (Openshaw, 2000; Ovando-Medina *et al.*, 2009; Sujatha *et al.*, 2005), para tener una descripción de los recursos genéticos. Cabe señalar que la gran variación de las poblaciones nativas de *J. curcas* es fundamental para el éxito de estos programas. Ginwal *et al.* (2004) reportaron asociaciones entre el contenido de aceite y precipitaciones del sitio de cultivo, lo que indica que el contenido de aceite puede estar influenciado por factores genéticos y ambientales, incluyendo la fertilidad del suelo y las precipitaciones (Escobar *et al.*, 2008; Mishra, 2009), sin embargo, varios autores han reportado altos valores de heredabilidad de esta característica: 99% (Kaushik *et al.*, 2007), 89.7% (Gohil y Pandya, 2009), > 75% (Ginwal *et al.*, 2004).

Debido a que *Jatropha curcas* se reproduce esencialmente por polinización cruzada, resulta en un alto grado de variación entre los individuos y ofrece a los agricultores una amplia fuente de material para el mejoramiento genético tradicional, en el cual se seleccionan las características deseadas de las plantas madre y segregan éstas en la siguientes filias, sin embargo, este tipo de mejoramiento genético, cuando está basado únicamente considerando los caracteres morfológicos, no son exitosos, debido a que éstos pueden variar en respuesta a las condiciones ambientales. Por tanto, es necesario contar con un sistema que nos permita identificar las variedades por características no variables entre individuos de una sola especie. Ganesh *et al.* (2008) reportaron el uso de marcadores genéticos para identificar, caracterizar genómicamente y evaluar la diversidad entre 12 especies de *Jatropha*, demostrando la factibilidad de este tipo de análisis genómico. Gupta *et al.* (2008) reportaron el uso de microsatélites para analizar genéticamente diferentes genotipos de *Jatropha curcas*, en donde reportan 23 secuencias de oligos para el análisis genómico, lo cual se considera un gran avance para el mejoramiento genético de esta especie. El presente proyecto está enfocado al mejoramiento genético de esta especie que tendrá como base el uso de marcadores moleculares.

Debido a la variabilidad en los rendimientos de aceite obtenidos a partir de *Jatropha*, cuando se cultiva en diferentes ambientes se realizará la caracterización bioquímica del aceite de semillas obtenidas en diferentes agroambientes. También se determinará la toxicidad de los frutos ya que se ha reportado que algunas accesiones de procedencia mexicana contienen niveles muy bajos o no detectables de ésteres de forbol (Basha *et al.*, 2009), lo que les confiere un bajo grado de toxicidad y da la posibilidad de ser utilizada para elaboración de harinas para alimento de animales, con este enfoque se realizarán estudios bromatológicos de la torta de extracción y estudios toxicológicos. Se realizarán estudios para la micropropagación de los genotipos seleccionados, de acuerdo con sus propiedades, como productividad y resistencia a enfermedades.

6.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Ati T, Hotchkiss JH (2002). "Application of packaging and modified atmosphere to fresh cut fruits and vegetables". In Lamikanra O. (Ed). *Fresh cut fruits and vegetables: Science, technology and market*, CRC Boca Raton, 10:305-338.
- Álvarez M (2011). *Multiplificación de plantas*. Primera edición. Edit. Albatros, Argentina, pp. 86-89.
- Ávila-Díaz I, Oyama K (2002). "Manejo sustentable de *Laelia speciosa* (Orchidaceae)". *Biodiversitas*, 47: 9-11.
- Basha SD, Francis G, Makkar HPS, Becker K, Sujatha MA (2009). "Comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between *Jatropha curcas* L. germplasm from different countries". *Plant Sci.*:176(6) ,812–823.
- Bell L (1996). Sealed package containing respiring perishable produce. U.S. Patent # 430,123.
- Bui VL, Nghieng DM, Sadik S, Tran Thanh Van K (1998a). "Rapid plant regeneration of a C4 dicot species: *A. edulis*". *Plant Sci.* 132:45-54.
- Castañón (2002). "La biotecnología y el mejoramiento genético vegetal". *Kuxulkab'* Revista de Divulgación. Vol. 11 (14): 1-15.
- De Vetten N, Horst J, Van Schaik HP, De Boer A, Mol J, Koes R (1999). "A cytochrome b5 is required for full activity of flavonoid 3'5'-hydroxylase, a cytochrome P450 involved in the formation of blue flower colors". *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 96:778-783.
- Dearnaley JDW (2007). "Further advances in orchid mycorrhizal research". *Mycorrhiza* 17:475–486.
- Duong T, Teixeira da Silva J, Aswath CR (2001). "Thin cell layer culture system in liliium: regeneration and transformation perspectives". *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 37:516-523.
- _____ (2003). "The importance of the explant on regeneration in thin cell layer technology". *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 39:266–276.
- Escobar JC, Lora ES, Venturini OJ, Yáñez EE, Castillo EF, Almazán O (2008). "Biofuels: Environment, technology and food security". *Renew. Sust. Energ. Rev.*: 13, 1275-1287.
- Fernández-Muerza A (2010). La planta *Jatropha*, ¿el biodiésel del futuro? *Ecoticias.com / .red / agencias*.
- Ferrante A, Trivellini A, Serra G (2010). "Colours and flower longevity of garden roses". *Research of Biological Sciences*. DOI:10.3923/rjbsci.2010.125.130, pp. 125-130.
- Fucuhi-Mizutani M, Okuhara H, Fukui Y, Nakao M, Katsumoto Y, Yonekura-Sakakibara K, Kusumi T, Hase T, Tanaka Y (2003). "Biochemical and molecular characterization of a novel UDP-Glucosa: Anthocyanin biosynthesis, from gentian". *Plant Physiology* 32: 1652-1663.

- Ganesh RS, Parthiban KT, Kumar RS, Thiruvengadam V, Paramathma M (2008). "Genetic diversity among *Jatropha* species as revealed by RAPD markers". *Genet Resour Crop Evol.*, 55:803–809.
- Gantait S, Mandal N (2010). "Tissue culture of *Anthurium*: A significant review and future prospective". *International Journal of Botany* 6(3): 207-219.
- García G, Hernández C, Martínez L (1999). Investigación al día: Floricultura en México y el entorno mundial. Proyecciones: Publicación electrónica de la División de Administración y Ciencias Sociales de la Rectoría Zona Sur. ITESM. Año 1, Núm. 1 <http://www.cem.itesm.mx/dacs/publicaciones/proy/n1/inveco1.html>
- Ginwall HS, Rawat PS, Srivastava RL (2004). "Seed source variation in growth performance and oil yield in *Jatropha curcas* Linn. in Central India". *Silvae Genet.* 54:76-80.
- Gohil RH, Pandya JB (2009). "Genetic evaluation of *Jatropha* (*Jatropha curcas* Linn.) genotypes". *J. Agric. Res.:* 47,221-228.
- Gonçalves S, Romano A (2007). "In vitro minimum growth for conservation of *Drosophyllum lusitanicum*". *Biologia Plantarum*; 51 (4): 795-798.
- Gunning J, Lagerstedh HB (1986). *Long-term storage techniques for in vitro plant germoplasm*. Comb Proc. Int. Plant Prop. Soc. 35: 199-205.
- Gupta S, Srivastava M, Mishra GP, Naik PK, Chauhan RS, Tiwari SK, Kumar M, Singh R (2008). "Analogy of ISSR and RAPD markers for comparative analysis of genetic diversity among different *Jatropha curcas* genotypes". *African Journal of Biotechnology* Vol. 7 (23), pp. 4230-4243, 3.
- Higaki T, Rasmussen HP, Carpenter W (1984). *A study of some morphological and anatomical aspects of A. andreanum Lind.* University of Hawaii, HITAHR College of Tropical Agriculture and Human Resources.
- Holton TA, Brugliera F, Lester DR, Tanaka Y, Hyland CD, Menting JGT, Lu C-Y, Farcy E, Stevenson TW and Cornish EC (1993). "Cloning and expression of cytochrome P450 genes controlling flower colour". *Nature* 366: 276-279.
<http://lagunadeterminos.conanp.gob.mx/cuerpo%20biodiversidad.htm#flora>. Consulta: 09 de abril de 2012.
- Hutchinson MJ, Chebet DK, Emongor VE (2003). "Effect of Accel, sucrose and silver thiosulphate on the water relations and post harvest physiology of cut tuberose flowers". *African Crop Science Journal* 11(4):279-287.
- Izquierdo (2000). Los cultivos transgénicos y la seguridad alimentaria. La segunda generación. FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. <http://www.rlc.fao.org/opinion/anterior/2000/izquierdo.htm8/12/2011>.
- Kader A (2002). *Postharvest technology of agricultural crops*. Third Ed. University California, Agriculture and natural resources. Publication 3311. 315-363.
- Katsumoto Y, Fucuchi-Mizutani M, Fukui Y, Brugliera F, Holton TA, Karan, M, Nakamura N, Yonekura-Sakakibara K, Togami J, Pigeai A, Tao GQ, Nehra NS, Lu C, Lu CY, Dyson BK, Shinzo T, Ashikari T, Kasumi T, Mason JB, Tanaka Y (2007). "Engineering of the rose flavonoid biosynthetic pathway successfully gene-

- rated blue-hued flowers accumulating delphinidin". *Plant cell Physiology* 48: 1589-1600.
- Kaushik N, Kumar K, Kumar S, Kaushik N, Roy S (2007). "Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha (Jatropha curcas L.)* accessions". *Biomass Bioenerg.* 31:497-502.
- La Croix IF (2008). *The New Enciclopedia of Orchids*, pp. 11, 12, 18, 22, 62.
- Luo YL, Mcevoy MR, Wachel JG, Huang Y (2004). "Package film oxygen transmission rate affects postharvest biology and quality of fresh cut cilantro leaves". *Hortscience* 39(3): 567-570.
- Manjari Datta M, Priyanka M, Ghosh B, Timir BJ (2007). "In vitro clonal propagation of biodiesel plant (*Jatropha curcas L.*)". *Current science*, 93 (10): 1438-1442.
- Martin KP (2003). "Clonal propagation, encapsulation and reintroduction of *Ipsea malabarica* (Reichb. f.), an endangered orchid". *In Vitro Cell. Dev. Biol.—Plant* 39:322–326.
- Martin KP, Dominic J, Joseph M, Philip VJ (2003). "Direct shoot regeneration from lamina explants of two commercial cut flower cultivars of *A. andraeanum hort*". *In Vitro Cell. Dev. Biol.—Plant* 39:500–504.
- Martin KP, Pradeep AK (2003). "Simple strategy for the *in vitro* conservation of *Ipsea malabarica* an endemic and endangered orchid of the Western Ghats of Kerala, India". *Plant Cell tissue and organ culture.* 74 (2): 197-200.
- Martinez-Herrera J, Martinez-Ayala AM, Makkar H, Francis G, Becker K (2010). "Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas L.* from Mexico". *European Journal of Scientific Research:* 39 (3): 396-407.
- Mejía (2010). Posible aprovechar especies ornamentales con mejoramiento genético. Biotecnología (La imagen Agropecuaria). Vol. 1: http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id-art=1057&id_sec=2
- Mir N, Beaudry RM (2004). "Modified atmosphere packaging". In: Gross KC, Wang SY, Saltveit ME. *The commercial storage of fruits, vegetables and florists and nursery stocks, USDA Handbook 66* (accessed of November 6, 2007). <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/015map.pdf>
- Mishra DK (2009). "Selection of candidate plus phenotypes of *Jatropha curcas L.* using method of paired comparisons". *Biomass Bioenerg.:* 33, 542-545.
- Miss Morales J y Cano Sosa J (2012). "Semilla sintética. El campo del futuro". *Ciencia y Desarrollo del CONACYT.* 38 (258): 16-21.
- Nhut D, Bui VL, Tran Thanh Van K (2000b). "Somatic embryogenesis and direct shoot regeneration of rice (*O. sativa L.*) using thin cell layer culture of apical meristematic tissue". *J. Plant Physiol.* 157:559-565.
- Openshaw K (2000). "A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise". *Biomass Bioenerg.* : 19, 1-15.
- Ovando-Medina I, Adriano-Anaya L, Salvador-Figueroa M, Ruiz S, Vázquez A (2009). "Piñón (*Jatropha curcas*): Bioenergía para el desarrollo de Chiapas". *Biotecnol. Agrop. Biodiv.* Chiapas: 2, 1-24.

- Rojas GS, García LJ y Alarcon RM (2004). Propagación. Asexual de plantas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. República de Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Pronata., p. 7.
- Sandrasagarren N, Reid M (2000). *Postharvest handling of tuberose* (*Polianthes tuberosa* L.). Department of Environmental Horticulture, University of California Davis U.S.A. 313-317.
- Schoenbohm C, Martens S, Eder C, Forkmann G, Weisshaar B (2000). "Identification of the *Arabidopsis thaliana* flavonoid 3'-Hydroxylase gene and functional expression of the encoded P450 enzyme". *Biology Chemistry* 381: 749- 753.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001- Protección Ambiental -Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres -Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio -Lista de especies en Riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2002.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Sagarpa (2007). Producción anual. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15
- Singh A, Kumar P, (2008). "Influence of post-harvest treatments on modified atmosphere low temperature stored *Gladiolus* cut spikes". *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*. 1, (3): 267 – 277.
- Soto-Arenas MA (1996). México (Regional account). Orchids Status Survey and Conservation Action Plan. 53-58.
- SPO del Edo. Yucatán, (2010). Plan Rector Sistema Producto Ornamentales del estado de Yucatán.
- Sujatha M, Makkar HPH, Becker K (2005). "Shoot bud proliferation from axillary nodes and leaf sections of non-toxic *Jatropha curcas* L". *Plant Growth Regul.* 47:83–90.
- Tanaka Y, Katsumoto Y, Brugliera, Filippa, Mason J (2005). "Genetic engineering in floriculture". *Plant Cell, Tissue and Organ culture* 80: 1-24.
- Tanaka Y, Sasaki Nobuhiro, Ohmiya, A (2008). "Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids". *The Plant Journal* 54: 733-749.
- Teixeira da Silva J (2003). "Thin cell layer technology for induced response and control of rhizogenesis in chrysanthemum". *Plant Growth Regulation* 39: 67–76.
- Thomas R, Sah NK, Sharma PB (2008). "Therapeutic biology of *Jatropha curcas*: a mini review". *Curr Pharm Biotechnol.*: 9(4), 315-324.
- Togami J, Tamura M, Ishiguro K, Hirose C, Okuhara H, Ueyama Y, Nakamura N, Yonekura-Sakakibara K, Fukuchi-Mizutani M, Suzuki K-I, Fukui Y, Kusumi T, Tanaka Y (2006). "Molecular characterization of the flavonoid biosynthesis of *Verbena hybrida* and the functional analysis of *Verbena* and *Clitoria ternatea* F3'5' H genes in transgenic verbena". *Plant Biotechnology* 23: 5-11.
- Tran Thanh Van K, Bui VL (2000). *Current status of thin cell layer method for the induction of organogenesis or somatic embryogenesis*. eds. Somatic embryogenesis in woody plants. Dordrecht: Kluwer Academia, 51-91.

- Tran Thanh Van M (1973). "In vitro control of de novo flower, bud, root and callus differentiation from excised epidermal tissues". *Nature* 246:44-45.
- Ueyama Y, Katsumoto Y, Fukui Y, Fukuchi-Mizutani M, Ohkawa H, Kasumi T, Iwashita T, Tanaka Y (2006). "Molecular characterization of the flavonoid biosynthetic pathway and flower color modification of *Nierembergia* sp.". *Plant Biotechnology* 23: 19-24.
- Valle-Sandoval MR, Mascorro-Gallardo JO, Gil-Vázquez I, Iturriaga-de la Fuente G (2008). "Regeneración directa *in vitro* del crisantemo, *Dendranthema X grandiflorum* Kitam, a partir de segmentos de tallo". *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*: 24:219-227.
- Vences-Contreras C, Vázquez-García LM, Hernández-Rodríguez OA (2009). "Regeneración *in vitro* de once cultivares de crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) a partir de meristemos apicales". *Agronomía Mesoamericana* 20:409-415.
- Waitaka K, Reid M, Dogde L (2001). "Cold storage and flower keeping quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.)". *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(3) 271-275.
- Yoshida K, Kondo T, Okazaki Y, Katou K (1995). "Cause of blue colour". *Nature* 373: 291.
- Yun-peng D, Wen-yuan L, Ming-fang Z, Heng-bin H, Gui-xia J (2012). "The establishment of a slow-growth conservation system in vitro for two wild lily species". *African Journal of Biotechnology*, 11(8), pp. 1981-1990, 26.

SECCIÓN III



VINCULACIÓN

VINCULACIÓN EMPRESARIAL Y EDUCATIVA

Cano-Sosa J, Uc-Vázquez A,
Ramos-Díaz A, González-Flores T,
Rodríguez-Buenfil I*

irodriguez@ciatej.net.mx

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad Sureste,
calle 30 Núm. 151, interior Canacintra por 7 y 7 A,
Col. García Ginerés, Mérida, Yucatán, CP 97070*

7.1. RESUMEN

Desde sus inicios en 2002, la Unidad Sureste del CIATEJ ha realizado vinculación empresarial y educativa, esto a través de la capacitación tecnológica a las empresas de la región. La vinculación de la Unidad Sureste con las empresas de la región también se ha realizado a través de servicios de consultoría otorgada a empresas de los sectores agrícola, pecuario y alimentario. Además, durante estos 10 años uno de sus objetivos fue contribuir con la formación de recursos humanos, lo cual se ha logrado con trabajo y dedicación mediante la integración en años recientes de dos posgrados: el Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICYT) y la Maestría en Ciencias en Floricultura, ambos pertenecientes al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) de CONACYT y se imparten tanto en la Unidad Sureste como en CIATEJ Guadalajara. Los estudiantes atendidos proceden de distintas instituciones y han realizado veranos de investigación, tesis de posgrado y de licenciatura, y residencias profesionales. Así mismo, en

el quehacer cotidiano del CIATEJ se promueve la creación de invenciones y la transferencia de tecnología, así como la publicación de artículos científicos y de divulgación, capítulos de libro y libros para difundir el conocimiento generado.

Palabras clave: Transferencia tecnológica, Vinculación, Posgrado, Patente, Propiedad intelectual

7.2. INTRODUCCIÓN

De manera innata, el ser humano es imaginativo, inquisitivo y creativo, todo esto se refleja a través de los 10 años que la Unidad Sureste del CIATEJ ha promovido la vinculación empresarial y educativa, contribuyendo con ello a fortalecer competitividad tecnológica de las empresas y las personas de la región, incrementando su ventaja competitiva en un mercado global, con productos y servicios innovadores y de calidad.

En la Unidad Sureste se dirige una parte de los esfuerzos a la capacitación, con la finalidad de satisfacer las necesidades de la cadena productiva de manera integral; el objetivo es que las empresas de los sectores: agroindustrial, alimentos y bebidas, incrementen su competitividad en los mercados nacionales e internacionales, logrando la adecuación a los nuevos retos y oportunidades. Por otro lado, los servicios de consultoría apoyan a las empresas en el desarrollo y mejoramiento de procesos mediante la aplicación de metodologías, técnicas y herramientas de vanguardia.

En el área de posgrados se cuenta con programas que fomentan el desarrollo de competencias y habilidades que permiten generar soluciones para las necesidades actuales de las empresas.

La información contenida en libros, capítulos, artículos y memorias de congresos es una de las fuentes más completa, accesible, manejable y práctica con la que se cuenta para estar constantemente actualizados. Los investigadores adscritos a la misma han realizado diver-

sas publicaciones con miras a la difusión del conocimiento científico y tecnológico generado como parte de las actividades del desarrollo de proyectos financiados.

La Unidad Sureste del CIATEJ ha contribuido con vinculación educativa y empresarial a través de labores científicas y tecnológicas ininterrumpidas, las cuales se reflejan en su impartición de cursos, posgrados, artículos publicados, capítulos de libro y patentes, lo que permite consolidar cada día más la cultura de la propiedad intelectual de los desarrollos tecnológicos que se generan en el Centro.

7.3. CURSOS DE CAPACITACIÓN TECNOLÓGICA

La capacitación consiste en la adquisición de conocimientos teóricos y prácticos que contribuyen al desarrollo de los individuos en el desempeño de una actividad. Es por esto que la capacitación puede ser una gran herramienta a la hora de diferenciarse de la competencia y aumentar la productividad en las empresas. Conscientes de lo anterior, en la Unidad Sureste del CIATEJ se han desarrollado dos modalidades de cursos:

- **Cursos Abiertos:** Dirigidos a empresas y personas relacionados con la temática, este tipo de capacitación permite compartir y conocer experiencias de las otras personas inscritas.
- **Cursos Cerrados:** Impartidos en las instalaciones de aquellas empresas que lo soliciten y los participantes son únicamente personal de la empresa.

Desde su creación en 2002 y hasta la fecha, la Unidad Sureste ha contribuido con la capacitación tecnológica de las empresas de la región a través de la impartición de cursos a cargo de personal con amplia experiencia en el área. Se han organizado un total de cinco cursos abiertos al público en general, los cuales en su mayoría han sido diseñados de tal forma que se integran el conocimiento teórico y la práctica.

En estas actividades académicas se capacitó a 38 personas; de éstas, 29 (76%) se inscribieron como parte del programa de capacitación tecnológica y las nueve personas restantes (24%) recibieron capacitación especializada derivada de proyectos de desarrollo tecnológico y consultorías en sistema de calidad e inocuidad alimentaria. A continuación se enlistan los cursos disponibles.

1. PCR: Fundamentos y Usos Prácticos (impartido en noviembre de 2002). El objetivo del curso fue que los participantes conocieran los fundamentos teóricos de la reacción en cadena de la polimerasa, los factores que afectan su ejecución, así como los usos y posibilidades de aplicación en las tareas de investigación, análisis y diagnóstico. Fue diseñado para estudiantes de licenciatura y posgrado, y personal interesado en técnicas de biología molecular. Se analizaron los aspectos básicos que dan soporte a la técnica de PCR, desde el diseño de oligonucleótidos hasta las distintas aplicaciones de la técnica en la investigación, diagnóstico, análisis e instrumentación de un laboratorio para el uso de esta técnica.
2. Taller de Evaluación Sensorial de Alimentos y Bebidas (impartido en agosto de 2004). El taller tuvo como objetivo que los participantes conocieran los fundamentos que sustentan la metodología de la evaluación sensorial aplicada a productos alimenticios. Específicamente, se pretendió que los participantes comprendieran las diferencias entre una medición sensorial analítica, una hedónica y una degustación, y por último, se familiarizaran con las características relevantes en la calidad sensorial de productos alimenticios.

Durante el curso se habló de la evaluación sensorial como un método de estimación, los fundamentos de la metodología de evaluación sensorial (pruebas analíticas con base en las normas ISO correspondientes y pruebas hedónicas: jueces y condiciones para la realización de pruebas sensoriales), características relevantes en la calidad sensorial de productos alimenticios, planeación de la práctica, ejecución de las pruebas y el análisis estadístico de los datos para la elaboración de la conclusión.

3. Buenas Prácticas de Manufactura (impartido en octubre de 2004). Este curso se impartió con el objetivo de que los participantes adquirieran las herramientas necesarias para aplicar buenas prácticas de manufactura (BPM) en la micro, pequeña y mediana industria, para mejorar la calidad sanitaria de sus productos. Otros de los objetivos fueron: conocer los principios básicos de las BPM para su aplicación en la industria alimentaria, evaluar el estado sanitario de las empresas, en este caso de los participantes, para disminuir y controlar las fuentes de contaminación de los alimentos que procesan, con el fin de cumplir con la normatividad vigente y adquirir las bases para mejorar la calidad sanitaria del producto mediante cambios mínimos en el proceso de elaboración al aplicar las BPM.

El curso fue dirigido a las personas involucradas en la elaboración de alimentos dentro de la micro, pequeña y mediana industria: hielo, agua purificada, helados, paletas, concentrados, licores, condimentos, panificación, cárnicos y restaurantes. En el curso se abordó la siguiente temática: calidad alimentaria y su normatividad, higiene alimentaria, instalaciones y equipamiento, control de operaciones, control de plagas y verificación de las BPM de la empresa.

Este curso se impartió por segunda ocasión en abril de 2007, con la participación de seis personas provenientes de cinco empresas de la región.

4. Aditivos y Nuevos Ingredientes en la Industria Alimentaria (impartido en noviembre de 2006). El objetivo del curso fue: conocer la funcionalidad, las recomendaciones de uso y regulaciones sanitarias de los aditivos: edulcorantes, colorantes, espesantes, etc., así como los ingredientes de los alimentos. Se discutieron aspectos de interés de los diferentes tipos de edulcorantes, acidulantes, colorantes, espesantes y gelificantes, emulsivos y se habló acerca los nuevos ingredientes en la industria alimentaria. En todos los casos, se discutió y analizó sobre las ventajas y desventajas, y el modo de selección de los aditivos.

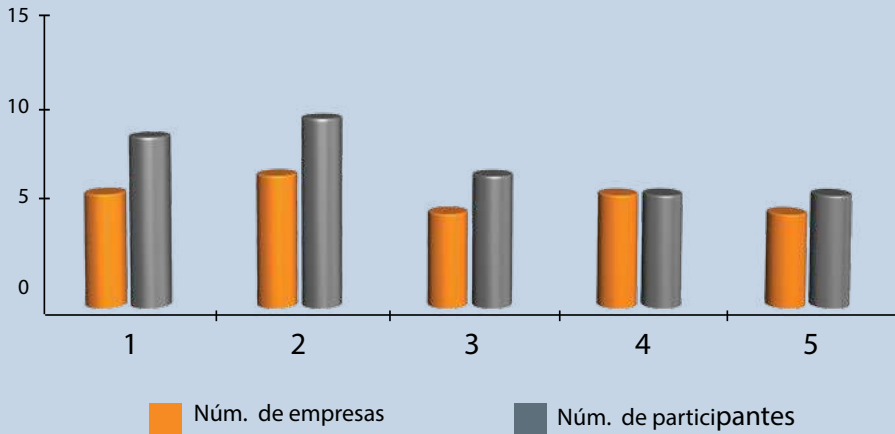


Figura 1. Número de empresas y participantes capacitados por curso (1. PCR, Fundamentos y usos prácticos, 2. Taller de evaluación sensorial de alimentos y bebidas, 3. Buenas prácticas de manufactura, 4. Aditivos y nuevos ingredientes en la industria alimentaria, y 5. Buenas prácticas de manufactura por segunda ocasión) impartido en la Unidad Sureste del CIATEJ en el periodo 2002-2007

A través de los diferentes cursos de entrenamiento impartidos por el CIATEJ fueron capacitadas 38 personas procedentes de cinco instituciones y 24 empresas (Figura 1); de éstas, 17%, 35%, 34% y 14% correspondieron a instituciones educativas, micro, pequeñas y medianas empresas, respectivamente. Esta conjunción de empresas atendidas-personas capacitadas es el resultado de las estrategias de promoción y difusión institucional emprendidas durante el periodo.

7.4. SERVICIOS DE CONSULTORÍA A EMPRESAS DE LA REGIÓN

En la Unidad Sureste del CIATEJ se apoya el desarrollo del sector productivo a través de asesorías y consultorías a la medida, para resolver proble-

mas específicos de las empresas. A continuación se presentan algunos ejemplos de asesorías impartidas a los sectores apícola y agrícola:

El personal de la Unidad Sureste realizó, a partir de diciembre de 2003 y hasta febrero de 2005, el servicio de elaboración de un vino a partir de miel de abeja. Otra empresa del ramo apícola interesada en mejorar la calidad de su producto, solicitó el servicio de asesoría técnica para la reducción de algunos compuestos que afectan la calidad de la miel de abeja, servicio que fue otorgado de julio de 2003 a mayo de 2004.

Una muestra clara de las ventajas competitivas que obtienen las empresas receptoras de los servicios especializados otorgados por el personal altamente capacitado del CIATEJ, es que en agosto de 2006 una empresa atendida en años anteriores solicitó el servicio de “suministro de levadura liofilizada y asesoría para el establecimiento del esquema de propagación de la misma, para la producción de hidromiel a una escala de 2,000 litros”. Finalmente, en abril de 2011, personal de la Unidad Sureste otorgó a una empresa del área agrícola el servicio de diagnóstico de fitopatógenos en muestras vegetales de *Jatropha curcas*; dicho servicio fue realizado mediante claves morfológicas, así como por amplificación y secuenciación de ITS (por sus siglas en inglés) y un fragmento del gen ribosomal 16S.

7.5. LOS POSGRADOS QUE OFERTA EL CIATEJ UNIDAD SURESTE

En la Unidad Sureste del CIATEJ se imparten dos programas de posgrado de alta calidad, impartidos por profesores con grado de Doctorado y amplia experiencia profesional, los cuales se describen a continuación.

7.5.1. Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología

El Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICYT) es un esquema multidisciplinario, el cual ofrece los niveles de Maestría,

Doctorado y Doctorado directo. Este programa tiene por objetivo general formar recursos humanos de alto nivel científico y tecnológico, capaces de generar, innovar, aplicar y transmitir conocimientos relevantes que incidan en el desarrollo del sector productivo del país y disciplinas sustantivas de los centros CONACYT participantes.

7.5.1.1. Objetivos particulares

La formación de recursos humanos en las áreas relacionadas a las opciones terminales de ingeniería ambiental, procesos agroindustriales y biotecnología productiva, a nivel de Maestría y Doctorado.

- a) Desarrollar actitudes y aptitudes en los estudiantes, para el desempeño eficaz de sus actividades en los ámbitos científico y tecnológico.
- b) Capacitar a los estudiantes en el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, con una visión de innovación.
- c) Divulgar el conocimiento generado por los investigadores y estudiantes en foros nacionales e internacionales, y la publicación de artículos en revistas de reconocimiento internacional.
- d) Promover la gestión de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, que se encuentren vinculados con la industria, el gobierno o con otras organizaciones.
- e) Contribuir al desarrollo tecnológico nacional a través de la transferencia del conocimiento y tecnología desarrollada en los proyectos de investigación y desarrollo por los investigadores y estudiantes del posgrado.
- f) Impulsar las relaciones del posgrado con instituciones científicas y tecnológicas nacionales e internacionales, con el fin de crear en los estudiantes una visión global.
- g) Impulsar estancias de investigadores y estudiantes del posgrado en otras instituciones, para realizar proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, con una visión global, incluyente y propositiva.

7.5.1.2. Perfil de egreso

Al término del programa, los egresados del PICYT contarán con una formación que les permita incorporarse a programas académicos de alto nivel en México o en el extranjero, o su inclusión a las actividades productivas a nivel gobierno, iniciativa privada o en las organizaciones no gubernamentales dedicadas a la protección de los recursos naturales. Asimismo, tendrá la posibilidad de aplicar las bases de conocimiento técnico para la creación de su propia empresa o el fortalecimiento de las ya existentes, con el fin de explotar las capacidades adquiridas en el programa de posgrado.

7.5.1.3. Principales características de la Maestría y el Doctorado

- Posgrado Interinstitucional que se imparte en siete Centros Tecnológicos del CONACYT.
- Los siete Centros comparten el mismo objetivo general, la estructura de los programas, el modelo de enseñanza-aprendizaje, el proceso de admisión, así como el plan de mejora continua.
- Los proyectos de tesis están vinculados con los sectores económicos y plantean soluciones a problemas tecnológicos reales.
- Una empresa o institución externa puede participar a través del financiamiento del estudiante y de la propuesta del proyecto.
- El alumno cubre un programa académico personalizado.

7.5.1.4. Opciones terminales del PICYT en CIATEJ Unidad Sureste

Biotechnología Productiva

Tiene como objetivo proporcionar al estudiante los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales en diversas ramas de la biotecnología, para que con base en ellos sea capaz de generar innovación, así como aplicar los avances más recientes a nivel mundial a la solución de problemas de interés para el país en los sectores agroalimentario y químico-farmacéutico.

Procesos Agroindustriales

Formación de especialistas capaces de abordar de manera profesional y confiable los retos del aprovechamiento efectivo de los recursos agroindustriales con los que cuenta el país.

7.5.2. Posgrado en Ciencias de la Floricultura

La Maestría en Ciencias de la Floricultura es un programa científico-práctico, con orientación a la investigación, que de acuerdo con los artículos 1, 37, 46 de la Ley General de Educación es de tipo superior, en el cual se oferta el nivel de Maestría de modalidad escolarizada, con la finalidad de formar investigadores con un elevado y reconocido espíritu de innovación, capaces de generar y aplicar el conocimiento original de manera independiente, al desarrollar o conducir proyectos de investigación científico-tecnológicos enfocados a resolver problemas propios del sector florícola, así como de formar y dirigir a nuevos investigadores e integrar grupos de investigación interdisciplinarios.

7.5.2.1. Perfil de ingreso y egreso

El perfil del ingreso a la Maestría en Ciencias de la Floricultura es el de un profesional que posee el grado de Licenciatura o Ingeniería en las áreas de la Biología, Agronomía y Química, cuyo espectro de conocimientos incluyen niveles básicos de biología celular, bioquímica y genética, consciente de la riqueza del uso y conservación de la diversidad biológica. Capaz de aplicar sus conocimientos y colaborar en actividades de investigación.

El perfil del Maestro en Ciencias de la Floricultura es el de un profesional con la capacidad de realizar investigación, capaz de participar en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico y capaz de ampliar y profundizar el conocimiento, innovar, aplicarlo y transmitirlo de manera sustentable en beneficio del sector florícola.

El campo de acción del graduado de la Maestría en Ciencias de la Floricultura será en instituciones de educación superior y centros de investigación, así como en el sector privado mediante el desarrollo de proyectos específicos de investigación, enfocados a la innovación y mejoras en la producción.

7.5.2.2. Duración del programa

La duración de la Maestría en Ciencias de la Floricultura será de dos años, tiempo pertinente para completar por lo menos 83 créditos, 43 en cursos curriculares y 40 en investigación. Cada año se dividirá en tres cuatrimestres y se tendrá un ingreso anual.

7.6. ESTUDIANTES ATENDIDOS EN EL CIATEJ

Se ha atendido a estudiantes procedentes de distintas instituciones, de veranos de investigación, a estudiantes de licenciatura y residencias profesionales con los cuales se ha contribuido a la formación de recursos humanos.

7.6.1. Origen de los estudiantes atendidos

Durante una década de impulso a la vinculación educativa, el CIATEJ ha atendido 48 estudiantes de diversas instituciones, entre las que se pueden mencionar el Instituto Tecnológico Superior del Estado de Campeche plantel Calkiní, la Universidad Autónoma de Yucatán, el Instituto Tecnológico de Mérida, la Universidad Autónoma del Carmen, la Universidad Politécnica de Pachuca, el Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, la Universidad Veracruzana y el Instituto Tecnológico de Chiná. Entre los estudiantes atendidos se incluyen los de residencias profesionales, tesis de licenciatura y estudiantes de maestría y doctorado matriculados dentro de los posgrados de PICYT y Floricultura del CIATEJ Unidad Sureste.

7.6.2. Alumnos graduados de la Maestría en Ciencias de la Floricultura

Como parte del programa de la Maestría en Ciencias de la Floricultura, el cual inició en el año 2008, se ha atendido a siete estudiantes, de los cuales se han graduado tres, quienes obtuvieron el grado al sustentar como tesis temas de actualidad en el área de mejoramiento genético vegetal (Tabla 1). En la siguiente tabla se enlistan los nombres de los graduados, así como los temas de tesis y el año de graduación.

7.6.3. Estudiantes que actualmente cursan el PICYT

Dentro del posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología, el cual se aperturó en el año 2010, se ha atendido a un total de seis estudiantes, uno de Doctorado y cinco de Maestría, quienes actualmente

Tabla 1. Temas de tesis de los alumnos graduados de la Maestría en Ciencias de la Floricultura

Título de la tesis	Autor	Año
Estudio de la variación somaclonal en la morfogénesis de <i>Bletia purpurea</i> (lam.)	Julia Esther Yah Chulim	2011
Conservación <i>in vitro</i> en condiciones de crecimiento mínimo de <i>Bletia purpurea</i> (lam.) y evaluación de la estabilidad genética	Doris Marissa Canul Pech	2011
Propagación <i>in vitro</i> de <i>Bletia purpurea</i> para la producción de semillas sintéticas	Eddy de Jesús Morales Mis	2012

se encuentran desarrollando sus temas de tesis involucrados en proyectos del área de alimentos para generar desarrollos innovadores y de calidad (Tabla 2).

Tabla 2. Estudiantes y temas de tesis actuales en el PICYT

Nombre del alumno	Tema de tesis
Tania González Flores	Estudio de la dinámica poblacional de microorganismos silvestres degradadores y/o fermentadores de carbohidratos para la producción de bioetanol
Cindy Mariel López Domínguez	Evaluación de la eficiencia de lisados membranales de bacterias ruminales productoras de celulosomas en la sacarificación de residuos cítricos
Daniel Armando San Román Ávila	Desarrollo de un método colorimétrico para la detección rápida de alcaloides pirrolizidínicos (PAS) en mieles y polen de plantas melíferas de la península de Yucatán
Raziel Jesús Estrada Martínez	Estudio de la capacidad fermentativa de microorganismos aislados de líquido ruminal en cultivos mixtos para la producción de alcohol a partir de residuos cítricos
Virgilio Velázquez González	Evaluación del efecto de extractos naturales y tratamientos térmicos sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica, sensorial y vida de anaquel de la pasta de chile habanero
Lizzie Viviana Baas Dzul	Extracción y caracterización de compuestos polifenólicos de subproductos cítricos

7.6.4. Listado de estudiantes graduados de Licenciatura

Como parte del impulso hacia la vinculación educativa, el CIATEJ ha atendido un total de 21 estudiantes de Licenciatura, quienes se han graduado con temas involucrados con proyectos innovadores del CIATEJ. De los estudiantes atendidos, seis fueron graduados por parte del Instituto Tecnológico Superior del Estado de Campeche, Calkiní, seis por parte de la Universidad Autónoma de Yucatán, dos del Instituto Tecnológico de Mérida, dos de la Universidad Autónoma del Carmen, uno del Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, tres de la Universidad Politécnica de Pachuca y uno por parte de la Universidad Veracruzana. En la Tabla 3 se enlistan los estudiantes atendidos en esta área, así como los títulos de las tesis con las que obtuvieron el grado y el año de graduación.

Tabla 3. Temas de tesis y estudiantes graduados de 2007 a 2012 en el CIATEJ Unidad Sureste

TÍTULO DE LA TESIS	AUTOR DE LA TESIS	AÑO
1. Estudio de la diversidad bacteriana (Fracción Firmicutes) en los sedimentos de la laguna rosada de Uaymitún	Marisol del Socorro González Vivas	2007
2. Aislamiento y caracterización de bacterias ácido lácticas de la pasta de chile habanero	Marco Antonio Moo Chab	2007
3. Factibilidad del uso de la técnica PCR-DGGE para el estudio de la distribución de bacterias ácido lácticas en los sedimentos de la laguna costera	Manuel del Carmen Camas Moo	2007
4. Desarrollo de un método para la extracción de ADN metagenómico de sedimentos y suelo	María de la Encarnación Mena Martínez	2007
5. Estudio de la capacidad fermentativa de dos bacterias ácido lácticas aisladas del chile habanero para su posible uso en una salsa fermentada	Nicte-Ha Collí Turriza	2007

Continuación...

6. Obtención de levaduras nativas productoras de alcohol procedentes de jugos de naranja y mandarina	Manuel Alberto Mukul Uicab	2007
7. Obtención, cuantificación y análisis zimográfico de papaína en subproductos de cosecha de papaya cv maradol (<i>Carica papaya</i> L)	Thomás Roberto Galindo Estrella	2007
8. Determinación de la actividad antifúngica de los extractos obtenidos de los subproductos de la naranja dulce (<i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck)	Julia Esther Yah Chulim	2007
9. Extracción y evaluación de compuestos antimicrobianos obtenidos de subproductos cítricos	David Alejandro Pool González	2008
10. Plantas medicinales de la península de Yucatán empleadas comúnmente en el tratamiento de la diabetes mellitus	Ana Laura Arjona Canul	2008
11. Efecto del pretratamiento fisicoquímico e hidrólisis microbiana sobre la sacarificación de residuos cítricos y de henequén para la producción de bioetanol	Leydi Guadalupe Chuc Pérez	2009
12. Análisis de la actividad proteolítica en subproductos de la cosecha de papaya cv Maradol (<i>Carica papaya</i>)	Juan Luis Rodríguez Casanova	2010
13. Caracterización fisicoquímica de cinco variedades de naranja cultivadas en el estado de Quintana Roo, y su posible uso como materia prima en la obtención de hesperidina	Rensson Eduardo Herrera Laguna	2010
14. Extracción de carotenoides a partir de frutas de desecho empleando tecnología tradicional	Rolando Gamboa Ceballos	2010
15. Aislamiento y caracterización de actinomicetos del suelo de la reserva de la biosfera Los Petenes, Campeche, México	Héctor Manuel Medina Cuevas	2010

Continuación...

16. Aislamiento y selección de actinomicetos del Parque Nacional El Chico para la obtención de compuestos con actividad antibiótica	Estrella Loany Infante Arreola	2010
17. Evaluación de algunas características fisicoquímicas del mango Tommy Atkins (<i>Mangifera indica L.</i>) cultivado en Campeche y obtención de puré mediante maceración enzimática	Iris Jezabel Uc UC	2011
18. Selección de actinomicetos productores de una enzima extracelular del tipo naranginasa (alfa-ramnosidasa) a partir de cepas aisladas de la reserva de la biosfera de Los Petenes (RBLP)	Leonela del Jesús Caraveo Montejo	2011
19. Evaluación de la aplicación de probióticos en dos dietas para ovinos, utilizando la prueba de digestibilidad <i>in vitro</i>	Raquel Pech Cervantes	2012
20. Establecimiento de un método de propagación <i>in vitro</i> de anturio oaxaqueño spp. (<i>Anthurium andreanum</i> cultivar 'Calypso') y mejoramiento de la propagación <i>in vitro</i> en anturio verde (<i>Anthurium andreanum</i> cultivar 'Midori')	Marco Antonio Ramírez Mosqueda	2012
21. Efecto de la relación C/N en la producción de metabolitos secundarios con actividad antifúngica de actinomicetos aislados del parque Nacional El Chico	Yivelle Ángeles Pérez	2012
22. Efecto de la fuente de carbono sobre la expresión de celulasas y xilanasas producidas por actinomicetos	Yarely García Esquivel	2012

7.6.5. Listado de estudiantes y temas de residencia profesional

El CIATEJ ha atendido estudiantes de residencia profesional, quienes realizan trabajo introductorio en el área de investigación, por lo que en la institución se tiene el compromiso de impulsarlos para continuar con sus temas de tesis y posterior graduación. Es muy importante encausar a estos estudiantes, quienes serán posibles investigadores. Durante una década se ha atendido a 15 estudiantes procedentes de diversas instituciones como parte de su formación mediante la realización de una residencia profesional (Tabla 4). De estos estudiantes atendidos, siete fueron graduados por parte del Instituto Tecnológico Superior del Estado de Campeche, Calkiní, uno de la Universidad Autónoma de Yucatán, cuatro del Instituto Tecnológico de Mérida, uno del Instituto Tecnológico Superior de Escárcega y dos del Instituto Tecnológico de Chiná.

Tabla 4. Estudiantes y temas de residencia profesional atendidos en el CIATEJ Unidad Sureste

TÍTULO	AUTOR	AÑO
1. Manual de técnicas para el análisis microbiológico de los alimentos	Julia Esther Yah Chulim	2005
2. Estudio de la diversidad genética de bacterias ácido lácticas en la península de Yucatán	Marisol del Socorro González Vivas	2006
3. Implementación de métodos de conservación de cultivos microbianos	Santiago Franco Brito	2007
4. Evaluación de residuos agroindustriales con potencial bioenergético	Leydi Guadalupe Chuc Pérez	2008
5. Implementación de métodos de extracción de ácidos nucleicos de bacterias ácido lácticas	Mario Ezquivel Balam Chí	2008
6. Extracción de carotenoides a partir de frutas de desecho empleando tecnología tradicional	Rolando Gamboa Ceballos	2009

Continuación...

7. Evaluación de algunas características fisicoquímicas del mango Tommy Atkins cosechado en el estado de Campeche	Iris Jezabel Uc UC	2010
8. Extracción de pectina a partir de residuos sólidos del procesamiento de naranja dulce y limón persa	Yoshi Sazil González Uc	2010
9. Aplicación de un fitoregulator para incrementar y controlar el periodo de producción de lima persa (<i>Citrus latifolia</i> TAN.) en Campeche, México	Eduardo Adrián Ek Xiu	2010
10. Dinámica poblacional de <i>Diaphora citri</i> en tres plantaciones de lima persa del estado de Campeche	María Luisa Pitol Cruz	2010
11. Producción de biomasa a partir de bacterias lácticas para su uso posterior como probiótico	Raquel Pech Cervantes	2010
12. Administración de recursos financieros de proyectos en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (Unidad Sureste)	Jorge Luis Casanova Trejo	2010
13. Determinación del contenido de polifenoles totales con actividad antioxidante en el pseudofruto de marañón (<i>Anacardium occidentale</i>) cosechado en el estado de Campeche	Wilberth Antonio Acosta Huchín	2011
14. Caracterización bioquímica de dos bacterias celulolíticas aisladas de líquido ruminal	Xermon Neilos Ucan Hernández	2011
15. Evaluación de dos mezclas de aditivos en la calidad fisicoquímica y microbiana de puré macerado de mango Tommy Atkins de la comunidad de Bacabchén, de Campeche	Luisana del Pilar Tucuch Calan	2011

7.7. PUBLICACIONES

Dentro del acervo creado a lo largo de diez años se pueden mencionar dos libros y nueve capítulos de libro, 18 artículos publicados en revistas con arbitraje nacional e internacional, así como 22 participaciones con memorias en extenso, en distintos congresos de relevancia. Adicionalmente, se cuenta con ocho artículos de difusión que permiten acercar la ciencia al público no especializado. A continuación se presenta el listado de las publicaciones de la Unidad Sureste del CIATEJ.

7.7.1. Listado de publicaciones

7.7.1.1. Libros y capítulos de libro

- Sánchez-Contreras A, González-Flores T, Evangelista-Martínez Z, Gallegos-Tintoré S, Reyes-Vázquez N, Morales-Landa JL, Rodríguez-Buenfil I (2012). "Aprovechamiento integral de agro-recursos de la península de Yucatán: Desarrollo biotecnológico de nuevos procesos y productos". En: *Contribución de la biotecnología al desarrollo de la península de Yucatán*. (Ed.) Dumonteil E. Editorial: Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería Delegación Yucatán, y Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, pp. 553-594, ISBN: 978-607-9060-09-1.
- Sánchez-Contreras A, Rodríguez-Buenfil I, Lugo-Cervantes EC, Jiménez-Estrada M y Sánchez-Esquivel S (2012). "Caracterización bioquímica de nuevas oxigenasas microbianas que promueven la conversión de carotenoides a compuestos con aroma". En: *Contribución de la biotecnología al desarrollo de la península de Yucatán*. (Ed.) Dumonteil E. Editorial: Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería Delegación Yucatán, y Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, pp. 638-649, ISBN:978-607-9060-09-1.
- Reyes-Vázquez NC, Naranjo-Martínez M, Toledo-López VM y Pereira-Pacheco F (2012). "Obtención de maltodextrinas de *Vigna unguiculata* y su aplicación en productos cárnicos bajos en grasa". En: *Contribución de la biotecnología al desarrollo de la península de Yucatán*. (Ed.) Dumonteil E. Editorial: Sociedad Mexicana de Biotecnología

- y Bioingeniería Delegación Yucatán, y Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Yucatán, pp. 490-498, ISBN:978-607-9060-09-1.
- Güémez Ricalde FJ, Zapata Sánchez JL, González Mondragón EG, Kú Che M, Lechuga Salas P, Salinas Castro A, Flores Montaña JL, Bravo Andrade S, Sánchez-Contreras A (2011). *Hesperidina: Potencialidades del mercado de la hesperidina obtenida de la naranja para su uso como antioxidante*. Editorial Universidad de Quintana Roo, COQ-CYT, CIATEJ. ISBN 978-607-9015-28-2.
 - Uc-Vázquez A, Rodríguez-García CM y Moreno-Valenzuela OA (2011). "Viroides de los cítricos en México: Problemática actual, avances y perspectivas". En: *Recursos genéticos microbianos en la zona Golfo-Sureste de México*. (Eds.) Gamboa-Angulo M y Rojas-Herrera R. Vol. 1, pp. 125-135. Morevalladolid, Morelia, Michoacán, México. ISBN: 978-607-424-274-4.
 - Sánchez-Contreras A, Rufino-González Y, Ponce-Macotela M, Sánchez-García S, Jiménez-Estrada M y Rodríguez-Buenfil I (2011). "*Psidium guajava* and *Tagetes erecta* flavonoids isolation, identification and biological activity". Capítulo 10. En: *Nutraceuticals and Functional Foods: Conventional and Non-conventional Sources*. (Eds.) Jaramillo-Flores ME, Lugo-Cervantes EC y Chel-Guerrero L. Editorial: Studium Press., pp. 167-186, ISBN: 1-933699-59-0.
 - Cardador-Martínez A, Padilla-De La Rosa JD, Padilla-Camberos E, Estarrón-Espinosa M, Mora-Álvarez M, Castillo-Herrera GA, Gallegos-Tintoré S y González-Flores T (2011). "Biological Activities from *Citrus* Species". Capítulo 6. En: *Nutraceuticals and Functional Foods: Conventional and Non-conventional Sources*. (Eds.) Jaramillo-Flores ME, Lugo-Cervantes EC y Chel-Guerrero L. Editorial: Studium Press., pp. 103-120, ISBN: 1-933699-59-0.
 - Mendoza E, Jiménez EM, Sánchez A, Arrieta BD, Eslava C (2007). "Antidiarreal activity of *Geranium seemanni* by inhibition of adherence of *E. coli* to HEp-2 cells". En: *Anuario de investigación en etnomedicina, medicinas complementarias y utilización de plantas medicinales*. Editorial: UAM-Iztapalapa. Pp. 23-30. ISBN:970-31-0546-7
 - Sánchez-Contreras A (2007). "Perspectivas en la producción de bioetanol a partir de diversos residuos agroindustriales". En: *Primer Foro sobre Bioenergía*. Editorial: Fundación Produce Yucatan., pp. 28-37. ISBN: 970-9850-03-2.

- Rodríguez Buenfil I, Pinal Zuazo L, Peraza Luna F y González Cárdenas J (2007) "Optimización de la producción de alcohol en un ingenio azucarero". En: *Primer Foro sobre Bioenergía*. Editorial: Fundación Produce Yucatán, pp. 13-27. ISBN: 970-9850-03-2.
- Ramírez Jaramillo G, Avilés Baeza W, Dzib Echeverría R, Góngora González S, Pérez Miranda L, Alonzo Gutiérrez O, Magaña Magaña M, Cristóbal Alejo J, Peniche Pérez G, Leyva Morales C, Islas Flores I, Santana Buzzy N, González Estrada T, Escalante Rebollado E, Rodríguez Buenfil I, Sauri Duch E, Muñoz Carrillo C, Chel Guerrero L, Ledón Vadillo J, Castillo Aguilar J (2005). *Estudio estratégico de la cadena agroindustrial: chile habanero*. Libro técnico. Editorial: INIFAP-Fundación Produce Yucatán, Mérida, Yucatán.

7.7.1.2. Artículos en revistas arbitradas nacionales e internacionales

- Yah-Chulim JE, Rodríguez-Buenfil IM, Reyes Escogido ML, López-Puc G (2012). "Optimization of growth regulators in organogenesis of *Bletia purpurea* (Lam.) using response surface design and genetic evaluation". *Afr. J. Biotechnol.* 11(57): 12045-12052. DOI: 10.5897/AJB12.1028.
- Miss Morales E y Cano Sosa J (2012). "Semilla sintética. El campo del futuro". *Ciencia y Desarrollo del CONACYT.* 38 (258): 16-21.
- Reyes-Escogido L, Rodríguez-Buenfil I, Valdés J, Kameyama L, Saucedo-Cardenas O y Martínez-Pérez F (2012). "A Versalite Metagenome Purification Method to Identify Uncultivable Bacteria by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) from Sediments and Soils". *J Bacteriol Parasitol*, 3:6. ISSN: 2155-9597. DOI. 10.4172/2155-9597. 1000147.
- Reyes N, Islas I, Domínguez R, Rivera G y Solís S (2012). "Variación del Complejo Pectinolítico del Sistema Inmovilizado de *Aspergillus* sp HL por Efecto del pH y Temperatura". *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería AC* (BioTecnología). 16(2): 65-76. ISSN 0188-4786.
- Rufino-González Y, Ponce-Macotela M, González-Maciél A, Reynoso-Robles R, Jiménez-Estrada M, Sánchez-Contreras A y Martínez-

- Gordillo M (2012). "In vitro activity of the F-6 fraction of oregano against *Giardia intestinalis*". *Parasitol.* 139: 434-440. doi:10. 1017/S0031182011002162.
- Figueroa-Yáñez L, Cano-Sosa J, Castaño E, Arroyo-Herrera AL, Caamal-Velázquez JH, Sánchez-Teyer F, López-Gómez R, De Los Santos-Briones C, Rodríguez-Zapata L (2012). "Phylogenetic relationships and expression in response to low temperature of a catalase gene in banana (*Musa acuminata* cv. "Grand Nain") fruit". *Plant Cell, Tiss. Organ Cult.* 109(3):429-438. Doi 10.1007/s11240-011-0107-4.
 - Chávez-Quintal P, González-Flores T, Rodríguez-Buenfil I y Gallegos-Tintoré S (2011). "Antifungal activity in ethanolic extracts of *Carica papaya* L. cv. maradol leaves and seeds". *Indian J. Microbiol.* 51:54-60. doi 10.1007/s12088-011-0086-5.
 - Reyes-Escogido ML, González-Mondragón EG y Vázquez-Tzompan-tzi E (2011). "Chemical and pharmacological aspects of capsaicin". *Molecules*, 16:1253-1270. doi:10.3390/molecules16021253.
 - Reyes-Escogido ML, Balam-Chi M, Rodríguez-Buenfil I, Valdés J, Kameyama L y Martínez-Pérez F (2010). "Purification of bacterial genomic DNA in less than twenty minutes using chelex 100-microwave: examples from strains of Lactic Acid Bacteria isolated from soil samples". *Antonie Van Leeuwenhoek.* 98(4):465-474. doi 10.1007/s10482-010-9462-0.
 - Guevara-Figueroa T, Jiménez-Islas H, Reyes-Escogido ML, Mortensen AG, Laursen BB, Lin LW, De León-Rodríguez A, Fomsgaard IS, Barba de la Rosa AP (2010). "Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.)". *J. Food Comp. Analysis* 23: 525-532.
 - Galindo-Estrella TR, Hernández-Gutiérrez R, Mateos-Díaz JC, Sandoval-Fabián G, Chel-Guerrero LA, Rodríguez-Buenfil I y Gallegos-Tintoré S (2009). "Proteolytic activity in enzymatic extracts from *Carica papaya* L. cv. Maradol harvest by-products". *Process Biochem.* 44(1):77-82.
 - Evangelista-Martínez Z, Imbert-Palafox JL, Becerril-Flores MA y Gómez-Gómez JV (2009). "Análisis morfológico de huevos de *Triatoma barberi* Usinger (Hemiptera: Reduviidae, Triatominae)". *Neotropical Entomology.* 39(2):207-213.
 - Arellano M, Pelayo C, Ramírez J y Rodríguez I (2008). "Characteriza-

tion of kinetic parameters and the formation of volatile compounds during the tequila fermentation by wild yeast isolated from agave juice". *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35(8): 835-841. DOI 10.1007/s10295-008-0355-4.

- Betancur-Ancona D, Gallegos-Tintoré S, Delgado-Herrera A, Pérez-Flores V, Castellanos-Ruelas A y Chel-Guerrero L (2008). "Some physicochemical and antinutritional properties of raw flours and protein isolates from *Mucuna pruriens* (velvet bean) and *Canavalia ensiformis* (jack bean)". *Int. J. Food Sci. Tech.* 43(5):816-823. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2007.01521.x.
- Zamudio-Maya M, Narváez-Zapata J y Rojas-Herrera R (2008). "Isolation and identification of lactic acid bacteria from sediments of a coastal marsh using a differential selective medium". *Lett. Appl. Microbiol.* 46 (3): 402-407. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2008.02329.x.
- Rojas-Herrera RA y González-Flores T (2006). "Detección e identificación de bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos mediante la reacción en cadena de la polimerasa". *Bioquímica.* 31(2):66-76.
- Quiroz Figueroa FR, Rojas-Herrera R, Galaz-Ávalos RM y Loyola-Vargas VM (2006). "Embryo production through somatic embryogenesis can be used to study cell differentiation in plants". *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 86:285-301.
- González-Flores T y Rojas-Herrera RA (2005). "Enfermedades transmitidas por alimentos y PCR: prevención y diagnóstico". *Salud Pública de México.* 47(5): 388-390.

7.7.1.3. Memorias de congreso

- Estrada-Martínez R, González-Flores T, Sánchez-Contreras MA y Rodríguez-Buenfil I (2012). "Study of the fermentative capacity and ethanol production of two microorganisms isolated from bovine rumen". En: *Memorias del Biotechnology Summit 2012*. Eds. Fernández-Luqueño F, López-Valdez F, Lozano-Muñoz S, pp. 101-105, ISBN CD version: 978-607-9023-11-9.
- López-Domínguez C, Rodríguez-Buenfil I, Ucan-Hernández X, Evangelista-Martínez Z y Sánchez-Contreras A (2012). "Isolation

- of cellulose-hydrolytic bacteria capable of hydrolyzing citrus peel waste". En: *Memorias del Biotechnology Summit 2012*. Eds. Fernández-Luqueño F, López-Valdez F, Lozano-Muñiz S, pp. 109-112, ISBN CD VERSION: 978-607-9023-11-9, ISBN Web versión: 978-607-9023-12-6.
- González Durán A, Uc Vázquez A y Ramos Díaz AL (2011). "In silico analysis of possible conserved domains and regulation of flavonoid-3', 5'-hydroxylase". En: *Memorias del XIV National congress of Biochemistry and Plant Molecular Biology And 7th Symposium Mexico-USA*. Noviembre de 2011. San Francisco de Campeche, México. 29 noviembre-2 diciembre de 2011.
 - González-Mondragón EG y Uc-Vázquez A (2011). "Different methods for efficient extraction of anthocyanins in petals of *Chrysanthemum (Dendrathera grandiflorum)*". En: *Memorias del XIV National congress of Biochemistry and Plant Molecular Biology and 7th Symposium Mexico-USA*. San Francisco de Campeche, México. 29 noviembre-2 diciembre de 2011.
 - González-Mondragón EG, García-Velazco R, Uc-Vázquez A (2011). "Concentración de antocianinas y carotenoides en 21 variedades de crisantemo (*Dendranthema grandiflorum*)". En: *Memorias del XIII Congreso Nacional y VI Internacional de Horticultura ornamental*. Nuevo Vallarta, Nayarit, México. 23-28 de octubre de 2011. ISBN: 978-607-7868-32-3.
 - Morales Mis EJ, López Puc G, Rodríguez Buenfil IM y Cano Sosa JS (2011). "Propagación *in vitro* de *Bletia purpurea*, mediante organogénesis directa". XV Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. En: *Mesoamericana*. Revista Oficial de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. Volumen 15(2), octubre de 2011. P. 79.
 - López-Puc G (2011). "Germinación asimbiótica *in vitro* y regeneración directa de brotes de *Bletia purpurea* (Lam) DC y *Catasetum integerrimum* Hooker". En: *Memorias del Segundo Congreso Costarricense de Biotecnología*. Del 11-13 de mayo de 2011. San José Costa Rica.
 - Sánchez-Contreras A, Ramos-Díaz AL, Rodríguez-Buenfil IM (2011). "Estudio melisopalínológico de mieles de abeja de Campeche". En: *Memorias del 11th International Congress on Microscopy CIASEM 2011*. 25-29 de septiembre de 2011.
 - Sánchez-Contreras A, Ramírez Cancino L, Evangelista MZ, Uacán

Hernández X y Rodríguez-Buenfil I (2010). "Aislamiento y caracterización de bacterias ruminales para la bioconversión de residuos cítricos en bioetanol". En: *Memorias en extenso del II Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal (SOLA-BIAA)* pp. 380-383. 5 al 9 de diciembre de 2010. Cancún, Quintana Roo. ISBN 978-607-9144-00-5 ED. INECOL.

- López-Puc G, Rodríguez Buenfil IM, Canul-Pech DM y Yah-Chulim JE (2010). "Conservación *in vitro* de recursos genéticos de orquídeas del estado de Campeche". En: *Memorias del Séptimo Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Biotecnología Agropecuaria REDBIO 2010*. Del 1-5 de octubre de 2010.
- Medina-Cuevas HM y Evangelista-Martínez Z (2010). "Actinobacterias con actividad enzimática y antimicrobiana aisladas de la Reserva de la Biósfera Los Petenes". En: *Memorias del 1er Congreso Internacional de Ingeniería Química*. ISBN: 978-607-7826-11-8. 115-121.
- Sánchez-Contreras A, González-Flores T, Prado-Ramírez R y Rodríguez-Buenfil I. "Producción de celulasas por *Daldinia sp*, en residuos de henequén". En: *Memorias en extenso del XXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Bioquímica*. 16-21 de noviembre de 2008.
- Sánchez-Contreras A, González-Flores T y Rodríguez-Buenfil I (2008). "Recuperación de polifenoles y flavonoides de desechos industriales del procesamiento de naranja". En: *Memorias de III Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal*. Mérida Yucatán. 3-8 Nov.2008. ISBN: 978-607-425-027-5.
- Sánchez-Contreras A, Reyes N, Rodríguez-Buenfil I (2008). "Caracterización inicial de la actividad antimicrobiana de bacterias ácido lácticas aisladas de chile habanero". En: *Memorias en extenso V Reunión Estatal de Investigación Agropecuaria, Forestal y Pesca*. 21 al 23 de enero de 2008. COFUPRO, Fundación Produce Yucatán, Mérida, Yucatán.
- Rodríguez-Buenfil I, Moo Chab M, Collí Turriza N y Gallegos Tintoré S (2008). "Elaboración de una salsa fermentada de chile habanero en la que se emplearon bacterias ácido lácticas silvestres como cultivos iniciadores". En: *Memorias en extenso de la V Reunión Estatal de Investigación, Agropecuaria, Forestal y Pesca*. 21 al 23 de enero de 2008. Fundación Produce Yucatán, Mérida, Yucatán.

- Gallegos S, Chávez P, Rodríguez-Buenfil I y González T (2008). "Evaluación de la actividad fungicida de los extractos obtenidos de subproductos de papaya maradol (*Carica papaya* L)". En: *Memorias en extenso de la V Reunión Estatal de Investigación, Agropecuaria, Forestal y Pesca*. 21 al 23 de enero de 2008. Fundación Produce Yucatán, Mérida, Yucatán.
- González T, Padilla E, Canales A y Gallegos S (2008). "Caracterización toxicológica de dos prototipos de desinfectante elaborados a base de toronja". En: *Memorias de la V Reunión Estatal de Investigación Agropecuaria, Forestal y Pesca*. 21 al 23 de enero de 2008. Fundación Produce Yucatán, Mérida, Yucatán.
- Rodríguez-Buenfil I, Moo Chab M, Collí Turriza N, Martínez Pérez F y Gallegos Tintoré S (2007). "Desarrollo de un proceso fermentativo para la industrialización del chile habanero: Aislamiento y caracterización de las cepas". En: *Memorias en extenso del II Seminario de Investigación Científica y Tecnológica del chile habanero*. Del 3 al 5 de octubre de 2007. Mérida, Yucatán.
- González T, Yah J y Gallegos S (2007). "Evaluación de la actividad fungicida de los extractos obtenidos de los subproductos de la naranja dulce (*Citrus sinensis*)". En: *Memorias de la IV Reunión Estatal de Investigación Agropecuaria, Forestal y Pesca*. Enero 2007. Mérida, Yucatán. Fundación Produce Yucatán, Mérida, Yucatán.
- Rodríguez IM, Mukul Uicab A y Luévano de la Cruz A (2006). "Aislamiento de levaduras silvestres para la fermentación alcohólica de jugo de naranja dulce y mandarina". *Memorias en extenso de la III Reunión Estatal de Investigación Agropecuarias, Forestal y Pesca*. Fundación Produce Yucatán. Del 19 al 21 de enero de 2006. Mérida, Yucatán.
- Reyes N, Rivas-Ruiz I, Domínguez-Espinosa R y Solís S (2006). "Producción de pectinasas por células inmovilizadas de *Aspergillus* HL en alginato de calcio". En: *Memorias de Congreso del XXVII Encuentro Nacional de la Academia de Investigación y Docencia en Ingeniería Química*. Mayo 2006.

7.7.1.4. Publicaciones en revistas de divulgación

- Medina-Cuevas HM y Evangelista-Martínez Z (2012). "Aislamiento y búsqueda de actinobacterias del suelo productoras de enzimas ex-

tracelulares y compuestos con actividad antimicrobiana". *UNACAR Tecnociencia*. ISSN 1870-9133.

- López Puc G, Rodríguez-Buenfil IM, Gutiérrez Mora A, Uc Vázquez A, Ramos Días A, Sánchez Martínez A y Lee-Espinosa H (2011). "Banco de germoplasma *in vitro*, uso sustentable de orquídeas nativas del estado de Campeche". *Revista Fomix Campeche*, Año 3, Núm. 8 abril-junio 2011, pp. 17-20.
- Rodríguez Buenfil I (2011) "CIATEJ: Conocimiento que genera sociedades tecnológicas. *Revista Gaceta del SIIDETEY*. Año 3 Núm. 28, agosto 2011.
- Reyes N (2010). "Tecnología para aprovechamiento y conservación del mango Tommy Atkins". *Revista Fomix Campeche*. Sección Viento en Popa: Proyectos en Marcha. Año 2 Núm. 4, abril-junio 2010, pp. 24-26.
- Evangelista-Martínez Z (2010). "Los actinomicetos: fundamentales para la preservación de los ecosistemas". *Revista Fomix Campeche*. Sección Viento en Popa: Proyectos en Marcha. 3: 17-19. Año 2 Núm. 3, enero-marzo 2010, pp. 17-29.
- Gallegos-Tintoré S, Rodríguez-Casanova JL, Mateos-Díaz JC (2009). "Los subproductos de cosecha de papaya maradol". *Revista Desafío*, Fundación Produce Yucatán, marzo, 2009.
- González Flores T, González Burgos A y Zamudio Maya M (2007). "Bacteria ácido láctica con potencial probiótico *in vitro* aislada del tepache". *Revista de la Facultad de Ingeniería Química*. Junio (44):17-23. ISSN 0188-5006.
- González T (2005). "Sacándole 'jugo' a la cáscara de la naranja". *Revista Juvenil I + D KANIK*. 4: 11-12.

7.7.1.5. Artículos aceptados próximos a publicarse

- Reyes-Vázquez N, González-Aguilar G, Moo-Huchin V, González-Martínez M, Villa-Rodríguez JA, Palafox-Carlos H, Sánchez-Contreras A, Rodríguez-Buenfil I. Antioxidant constituents and chemical properties of 'Tommy atkins' Mango grown in Campeche, Mexico. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*.
- López-Puc G (2012). "An effective *in vitro* slow growth protocol for conservation of the orchid *Epidendrum chlorocorymbos* Schitr."

Tropical and subtropical agroecosystems.

- Sánchez Velázquez JU y Cano Sosa JS. "Los chiles en apuros". *Ciencia y Desarrollo CONACYT.*
- Cano Sosa JS. "Semillas sintéticas: un sistema de micropropagación aplicado a plantas bajo amenaza o peligro de extinción". *Revista Fomix-Campeche.*

7.8. PROPIEDAD INTELECTUAL

7.8.1. Patentes

Desde la creación de la Unidad Sureste, de 2002 y hasta la fecha, se ha trabajado activamente en distintos proyectos de investigación, innovación y desarrollo que han llevado a la generación de invenciones susceptibles de ser protegidas al amparo de la Ley de Propiedad Industrial. Los campos atendidos con estas invenciones incluyen el procesamiento de alimentos y el aprovechamiento integral de residuos agroindustriales, aplicables a distintas industrias como la de alimentos, bebidas y farmacéutica. En este contexto se cuenta con una patente otorgada, cuatro solicitudes de patente que se encuentran en examen de fondo y dos solicitudes recientemente sometidas. La información relacionada con ellas se presenta a continuación.

7.8.2. Patente otorgada

7.8.2.1. Eliminación de residuos de estreptomycin en jarabes altos en fructosa y licores viscosos mediante captura iónica

El comercio internacional de productos destinados para el consumo humano penaliza la presencia de residuos de antibióticos en ellos, debido a que el consumidor ingiere un medicamento no deseado, lo que implica un riesgo de desencadenar alergias, así como de provocar la selección de cepas resistentes entre los gérmenes patógenos al hombre. Como consecuencia de esto, los controles sobre la presencia de residuos de antibióticos son cada día más rigurosos.

En la molécula de estreptomicina se encuentran varios grupos protonables que presentan una carga neta positiva a pH ácido, lo que sugiere que el uso de materiales intercambiadores iónicos para filtrar jarabes y licores pudiera contribuir a eliminar o reducir la estreptomicina presente en lotes contaminados.

Por lo anterior, se presentó la solicitud denominada: “Eliminación de residuos de estreptomicina en jarabes altos en fructosa y licores viscosos mediante captura iónica”, patente YU/a/2004/000006, cuyo título de patente (Núm. 266829) fue expedido en abril de 2009. En esta invención se describe el uso de un procedimiento de captura iónica para la eliminación de residuos de antibióticos, específicamente estreptomicina, en jarabes altos en fructosa y/o glucosa y licores contaminados.

La resina a emplear debe ser molida para garantizar un contacto óptimo con el jarabe durante el proceso de agitación. El complejo resina-estreptomicina se elimina mediante filtración, calentando previamente la mezcla jarabe-resina.

Mediante este procedimiento se logra reducir la concentración de estreptomicina en jarabes viscosos contaminados, desde más de 100 ppb hasta menos de 10 ppb. El jarabe filtrado resultante no muestra cambios visibles en su coloración, olor o sabor.

7.8.3. Solicitudes de patente en examen de fondo

7.8.3.1. Proceso para la obtención de polvo enzimático con actividad proteolítica a partir de subproductos de cosecha de papaya

La cosecha de la papaya (*Carica papaya* L.) genera una importante cantidad de subproductos (hojas, tallos, frutos verdes), hasta el momento poco aprovechados. Sin embargo, tales subproductos son una fuente de biocatalizadores de interés industrial ya que numerosos estudios señalan la presencia de hidrolasas en todos los tejidos de la planta de papaya.

En vista de lo anterior, se planteó un proceso que demuestra que la obtención de papaina comercial puede realizarse de los subproductos de cosecha de papaya sin valor agregado como los pecíolos, tallos, hojas y cogollos. La solicitud fue presentada el 17 de diciembre de 2009, con folio MX/E/2009/082237 y con número de expediente MX/a/2009/013997, el examen de forma fue satisfecho el 16 de julio de 2010.

Esta invención logra utilizar todos los subproductos de cosecha de cualquier variedad de papaya (tallos, hojas, raíces, frutos, cogollos, pecíolos) de plantas cuyo ciclo reproductivo ha concluido después de dos años de producción continua. Este proceso involucra el empleo de métodos mecánicos para procesar los subproductos y obtener a partir de estos extractos acuosos, los cuales son concentrados mediante centrifugación, empleando dispositivos de ultrafiltración con membranas de celulosa, para posteriormente ser secados por aspersion añadiendo previamente un encapsulante al extracto, obteniéndose un polvo con actividad proteolítica.

7.8.3.2. Proceso para la obtención de un desinfectante de frutas a partir de subproductos de toronja

A nivel comercial existen diversos productos desinfectantes, antimicrobianos y suplementos alimenticios elaborados con “extracto de semilla de toronja” (*grapefruit seed extract*), sin embargo, sólo utilizan semilla y pulpa de toronja, quedando una gran cantidad de residuos sólidos del procesamiento de la toronja (mezcla de flavedos, albedos, placentas, membranas carpelares y semillas) sin utilizar. Por otro lado, en muchos de los productos comerciales se ha detectado la presencia de cloruro de bencetonio (0.29-21.84%), triclosán (0.009-1.13%) u otros compuestos sintéticos a los que se les atribuye la actividad antimicrobiana que exhiben estos productos comerciales.

La solicitud de esta invención, con número de expediente Mx/a/2010/013959, fue presentada el 16 de diciembre de 2010 y el examen de forma fue satisfecho el 19 de enero de 2011. El proceso

protegido en esta invención involucra el empleo de métodos físico-químicos para procesar los subproductos de toronja y obtener a partir de éstos extractos etanólicos, los cuales son concentrados mediante evaporación rotatoria, para posteriormente ser adicionados con un emulsificante (glicerina) de amplio uso en la industria alimenticia, obteniéndose un producto con cualidades desinfectantes para frutas.

El producto obtenido permitió la reducción en el número de microorganismos mesófilos aerobios presentes en la superficie de frutas cítricas de 63.3% a 85.87%, mientras que los organismos coliformes totales disminuyeron de 88.26% a 92.21%. El desinfectante formulado es ligeramente ácido (pH 4.31 ± 0.03), con un olor característico a cítrico y una densidad de 1.17 g/cm^3 es ligeramente irritante para la piel y los ojos, pero no es tóxico ni genotóxico y tiene una biodegradabilidad del 93%.

7.8.3.3 Cepa de *Streptomyces* sp. con actividad antagónica, composición que la contiene y uso de la misma

Las plagas que afectan a las plantas son responsables de numerosas pérdidas y daños graves a los productos agrícolas, por tanto, estas plagas necesitan ser controladas para asegurar la producción de los alimentos que provienen del campo.

En la actualidad, existen regulaciones estrictas sobre el uso de fungicidas químicos en el campo, muchos de los cuales han sido retirados del mercado, tanto por los efectos tóxicos que presentan sobre el ambiente como por el surgimiento de nuevas cepas de hongos resistentes a estos compuestos. En consecuencia, se han venido desarrollando diversas alternativas para el control de las plagas y enfermedades de las plantas, una de estas opciones es el empleo de bacterias benéficas para el control de las enfermedades fúngicas.

A este respecto, el 6 de diciembre de 2011 se presentó la solicitud con número Mx/a/2011/013044 que describe y reclama una cepa nueva de *Streptomyces* sp., denominada CACIA-1.46HGO, que es capaz de inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos tales como

Fusarium, *Curvularia*, *Rhizopus*, *Phytophthora*, *Aspergillus* y *Helminthosporium*, que afectan diversos cultivos hortofrutícolas de importancia comercial.

La utilización de esta cepa radica en que se pueda disminuir considerablemente el uso de abonos y de pesticidas químicos, que pueden generar resistencia en los hongos patógenos de plantas y dañar considerablemente el medio ambiente y la salud de los humanos.

7.8.3.4. Cepa de *Streptomyces* sp. para control biológico, composición que la contiene y uso de la misma

En las últimas décadas, la producción agrícola en el mundo ha dependido cada vez más de los productos agroquímicos como un método confiable de protección de los cultivos. Sin embargo, el incremento en el uso de estos productos en el campo, ha generado efectos negativos importantes como son la aparición de cepas patógenas resistentes a los productos químicos y el impacto sobre el medio ambiente. Las investigaciones sobre la utilización de organismos benéficos que protejan contra las enfermedades e induzcan el crecimiento de las plantas está en pleno auge, debido a las restricciones cada vez más fuertes que existen con respecto del uso de fungicidas químicos y la producción de fertilizantes, cuya aplicación y fabricación generan una gran cantidad de contaminantes perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana.

Es por ello que el Control Biológico de las enfermedades de las plantas provocadas por hongos empleando bacterias benéficas es una alternativa muy interesante al uso de los fungicidas químicos que pueden causar el surgimiento de nuevas cepas de hongos resistentes a estos químicos como consecuencia de emplearse por largos periodos de tiempo.

Considerando lo anterior, el 6 de diciembre de 2011 se presentó la solicitud con número Mx/a/2011/013045 que describe y reclama una cepa nueva de *Streptomyces* sp., denominada CACIS-1.46 CA. Esta

nueva cepa de *Streptomyces* sp. se aisló de suelo y es capaz de presentar actividad contra patógenos, principalmente hongos fitopatógenos. Los biopesticidas (organismos vivos y los compuestos producidos de manera natural por estos organismos) pueden ser más seguros, más biodegradables y menos costosos de desarrollar que sus contrapartes sintéticas.

7.8.4. Solicitudes de patente en examen de forma

El 18 de mayo de 2012 se presentaron ante el IMPI las siguientes dos solicitudes divisionales:

1. Cepa de *Streptomyces* sp. con actividad antagónica, composición que la contiene y uso de la misma. Solicitud Núm. Mx/a/2012/005834. Divisional de la solicitud Mx/a/2011/013044.
2. Cepa de *Streptomyces* sp. para control biológico, composición que la contiene y uso de la misma. Solicitud Núm. Mx/a/2012/005836. Divisional de la solicitud Mx/a/2011/013045.

Ambas solicitudes actualmente se encuentran en espera del resultado del examen de forma.

7.8.5. Registro de microorganismos

El Tratado de Budapest sobre el Reconocimiento Internacional del Depósito de Microorganismos a Efectos del Procedimiento de Patente contempla la obligación, para los Estados Contratantes, de permitir o exigir el depósito de microorganismos para el procedimiento de registro de patentes sobre dicho material biológico, ante una "autoridad internacional de depósito", independientemente de que dicha autoridad esté ubicada en o fuera del territorio del Estado de que se trate.

En las patentes relacionadas con cuestiones químicas, eléctricas o mecánicas, un diagrama o una fórmula pueden describir suficientemente

la invención. Sin embargo, cuando se trata de una invención relacionada con un microorganismo o con la utilización de dicho material biológico, especialmente en las industrias agrícola, alimentaria y farmacéutica, al que el público no tiene acceso, no se considera suficiente una ilustración o descripción narrativa para los efectos de su divulgación. Lo anterior hace necesario depositar una muestra de dicho microorganismo ante una institución especializada.

La autoridad internacional de depósito es una institución científica, pública o privada, capaz de conservar los microorganismos. Al 1 de marzo del año 2009 existían 37 autoridades: siete en el Reino Unido, tres en la Federación Rusa y la República de Corea, dos en China, España, Estados Unidos de América, Italia, Japón y Polonia, respectivamente, y una en Alemania, Australia, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Eslovaquia, Francia, Hungría, India, Letonia, Países Bajos y República Checa.

Las nuevas cepas microbianas aisladas cuya posible aplicación industrial está contemplada en las invenciones presentadas por la Unidad Sureste han sido depositadas en el Agricultural Research Service Culture Collection (NRRL) bajo las disposiciones del Tratado de Budapest sobre el Reconocimiento Internacional del Depósito de Microorganismos a Efectos del Procedimiento de Patente con los siguientes números de acceso (Tabla 4):

Tabla 4. Cepas depositadas en el NRRL

Cepa	Número de acceso	Fuente
YOS-1YUC	NRRL Y-50738	Residuos cítricos, Yucatán, México
YOS-2YUC	NRRL Y-50737	Residuos cítricos, Yucatán, México
CACIA-1.46 HGO <i>Streptomyces</i> sp.	NRRL B-50596	Suelo del estado de Hidalgo, México
CACIS-1.16 CA <i>Streptomyces</i> sp.	NRRL B-50597	Suelo del estado de Campeche, México

7.9. CONCLUSIONES

Como resultado de estos 10 años de labores de la Unidad Sureste del CIATEJ, se ha impulsado la vinculación empresarial por la vía de la organización de cursos abiertos al público general y cursos especializados, consultorías en planta y desarrollos tecnológicos, los cuales han dado lugar a publicaciones de distinta índole y a la protección de las ideas inventivas generadas a través de figuras jurídicas, como la patente; en el transcurso de esta década se han sometido a evaluación siete solicitudes de patentes, una de las cuales ya ha sido aceptada.

De igual forma, la vinculación académica se ha ido consolidando año con año pues se ha logrado la creación de dos posgrados inscritos al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC), en los que participan profesores de distintas instituciones educativas locales y en los que se ha atendido a 11 estudiantes, entre ellos uno de Doctorado y los demás de Maestría. La formación de recursos humanos altamente especializados ha permitido la titulación de estudiantes procedentes tanto de nuestros posgrados como de otras instituciones. La vinculación con el sector académico también se ha efectuado a través de la recepción de estudiantes de nivel licenciatura para la realización de prácticas profesionales y tesis de grado, habiendo atendido a 31 estudiantes de este nivel.

Las actividades de vinculación empresarial y educativa aquí presentados son el resultado del esfuerzo y dedicación para la solución de diversos problemas y que, en mayor o menor grado, pueden contribuir tanto al desarrollo económico del país como al bienestar de la sociedad.

SECCIÓN IV



FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA DE INVESTIGACIÓN: INFRAESTRUCTURA DE LA NUEVA SEDE

Ramírez Sucre MO, Gastélum Martínez E,
Rodríguez Buenfil I

irodriguez@ciatej.net.mx

*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco, Unidad Sureste,
calle 30 Núm. 151, interior Canacintra por 7 y 7 A,
Col. García Ginerés, Mérida, Yucatán, CP 97070*

8.1. RESUMEN

La nueva sede de la Unidad Sureste del CIATEJ tendrá lugar en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán que forma parte del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán (SIIDETHEY). En este parque se podrán reforzar las relaciones interinstitucionales con otros centros de investigación también participantes, como el CICY, UADY, UNAM, Cinvestav, entre otros. La Unidad Sureste del CIATEJ se ubicará en un edificio en el que contará con un Laboratorio de Alimentos, un Laboratorio de Procesos Biotecnológicos y un Laboratorio de Calidad. Además, se instalará una Planta Piloto Procesadora de Alimentos, única en la región y en el país, con el objetivo de aumentar la rentabilidad de los negocios agroindustriales de la región. Las principales líneas de proceso que se atenderán son el acondicionamiento de la materia prima, la obtención de pulpas y bebidas, la preparación de alimentos nutraceuticos, la extracción de oleorresinas y aceites esenciales, la conserva

de frutas y verduras y el envasado de bebidas y productos regionales. Por otra parte, se contará, en un segundo edificio, con un área destinada al desarrollo de proyectos de investigación de floricultura, enfocados a la micropropagación, mejoramiento genético y fitopatología de plantas. De igual manera, se construirá un tercer edificio para el Laboratorio de Servicios Regionales para el Chile Habanero, el cual realizará pruebas analíticas, fisicoquímicas y microbiológicas de chile habanero.

Palabras clave: Parque Científico, Planta Piloto, Laboratorios SIIDETEX

8.2. INTRODUCCIÓN

Las plantas piloto de alimentos son puestas en marcha para realizar diversos procesos industriales, en los que se incluyen la caracterización de un producto, escalamiento de un proceso, la capacitación de personal, estudios de vida de anaquel, tiempo, mejora y control de proceso como medida de calidad, así como el diseño, evaluación, optimización y costo de un producto (Baasel, 1990; Well *et al.*, 2006; Anaya-Durand y Pedroza-Flores, 2008).

Actualmente, en México pocas instituciones cuentan con la infraestructura necesaria para el desarrollo y escalamiento como la Unidad de Escalamiento y Planta Piloto (UEPP) del Instituto de Biotecnología de la UNAM, el Centro de Investigación y Desarrollo en la Industria Alimentaria de la UANL, el Laboratorio de Biopolímeros del CIAD, el Departamento de Biotecnología de la UAM (Unidad Iztapalapa) y el Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP. Además, instituciones como el Colegio de Postgraduados, el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) en Culiacán, la Universidad Autónoma de Chapingo, la Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos (UNIDA) del Instituto Tecnológico de Veracruz, y la Planta Piloto del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Cinvestav, entre otras, cuentan en su registro con plantas piloto de alimentos.

En México contamos con un número limitado de plantas piloto de alimentos que se encargan de los procesos propios de la ciencia y tecnología alimentaria y que pueden desarrollar productos comerciales. Debido a lo anterior, la instalación de la Planta Piloto de Alimentos en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán permitirá contribuir a la aceleración del desarrollo y fortalecimiento competitivo de la región (Gobierno del Estado de Yucatán, 2007) mediante la transferencia de tecnologías que generen respuestas a las necesidades de la micro, pequeña y mediana industria agrícola de Yucatán, así como llevar a cabo el escalamiento, mejora y validación de los procesos y productos desarrollados, conservando atributos fundamentales como: color, olor, aroma y sabor. Las tecnologías aplicadas a los productos procesados brindarán a éstos la oportunidad de competir con las tendencias mundiales de la alimentación. Además, en esta planta se pretende aprovechar los productos y subproductos de la región dándoles un valor agregado mediante el desarrollo de nuevos productos, como por ejemplo, los alimentos funcionales y la extracción de compuestos antioxidantes o sustancias bioactivas a los subproductos.

8.3. PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO DE YUCATÁN

Como estrategia para el aprovechamiento de la biodiversidad y para aumentar la rentabilidad de los negocios agroindustriales, se encuentra en desarrollo la Planta Piloto procesadora de Alimentos, PPA, única en la región y en el país. El principal objetivo es generar infraestructura interinstitucional de alto nivel que propicie la articulación del SIIDETEX para coadyuvar al impulso de un Yucatán productivo, generador de inversión y con un desarrollo regional equilibrado y sustentable a partir del desarrollo científico, tecnológico y la innovación (Gobierno del Estado de Yucatán, 2011). Además de estimular el vínculo con las empresas, también propicia el apoyo de la inversión en ciencia y tecnología favoreciendo el desarrollo agroindustrial de la región.

8.3.1. Planta Piloto de Alimentos: proyecto estratégico, complementario y de fortalecimiento

Actualmente, existen tres proyectos de infraestructura encaminados al desarrollo de la Planta Piloto de Alimentos:

- 1) “Infraestructura estratégica para articular el Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico de Yucatán (SIIDETEY)” que generará infraestructura interinstitucional de alto nivel, que apoyará un desarrollo regional equilibrado y sustentable a partir del desarrollo científico, tecnológico y la innovación en el estado de Yucatán. El objetivo de este proyecto es generar tecnología de alto nivel y conocimiento de frontera para el aprovechamiento sustentable, el mejoramiento y la conservación de la biodiversidad del estado de Yucatán y fortalecer la formación de recursos humanos a partir de la infraestructura de alto nivel.
- 2) “Infraestructura complementaria para los laboratorios estratégicos: Planta Piloto Procesadora de Alimentos y Banco de Germoplasma para articular el Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico del Estado de Yucatán (SIIDETEY)”. El objetivo general de este proyecto es complementar la infraestructura de la planta piloto procesadora de alimentos y el banco de germoplasma, dos laboratorios estratégicos del SIIDETEY en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán (PCTYUC) para generar tecnología de alto nivel y conocimiento de frontera para el aprovechamiento sustentable y la conservación de la biodiversidad del estado de Yucatán
- 3) “Fortalecimiento de la infraestructura del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), integrante del SIIDETEY, en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán”, cuyo objetivo es el de finalizar la construcción y poner en marcha, en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán, la Unidad Sureste del CIATEJ, mediante el acondicionamiento de la

infraestructura de los laboratorios y oficinas del edificio del CIATEJ y la conclusión de la obra del edificio e inicio de las actividades científicas y tecnológicas.

En general, estos proyectos constan de etapas como: la construcción de los edificios, el proceso de gestión de adquisición de equipo, la instalación y calibración de equipo adquirido y las pruebas de arranque e inicio de operaciones.

La selección del equipo se ha llevado a cabo mediante un estudio de mercado para cada uno de ellos y se han elaborado fichas técnicas de los equipos, con información como: el nombre, número de inventario, descripción general del equipo, y uso y especificaciones técnicas del mismo, con la finalidad de que se cubrieran todas las especificaciones requeridas. Algunos equipos fueron diseñados por CIATEJ. Actualmente se ha adquirido equipo para las diferentes áreas de la Planta Piloto de Alimentos. En la Figura 1 se muestra parte de estos equipos.

La Planta Piloto de Alimentos estará ubicada en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán, en el kilómetro 2.5 de la carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto, perteneciente al municipio de Mérida, Yucatán, el cual fue donado por el Gobierno del Estado. Dado que se ha iniciado la construcción del edificio de la Planta Piloto de Alimentos y debido a que el espacio actual de la Unidad Sureste es reducido, el equipo piloto adquirido se encuentra temporalmente almacenado en una bodega.

Cabe destacar que para la construcción de la Planta Piloto se ha elaborado un plano arquitectónico con la disposición general de las áreas de la planta y de los laboratorios de la Unidad Sureste del CIATEJ en un mismo edificio. Este plano arquitectónico (Figura 2) y el diseño arquitectónico (Figura 3) constituyen una prueba fehaciente de esta realidad. Como se puede observar en la Figura 4, el porcentaje de avance de obra actualmente oscila entre 60 y 70%.



**Figura 1. Equipos de la Planta Piloto de Alimentos:
a) Despulpador, b) Lavadora de frutas, c) Precocedor helicoidal,
d) Mesa taponadora, e) Tina de recolección de aceites ligeros**



(Figura 1) Continuación... f) Tanque para mezclas, g) Secador de charolas, h) Tina de recolección de aceites pesados, i) Llenadora automática volumétrica, y j) Exhauster

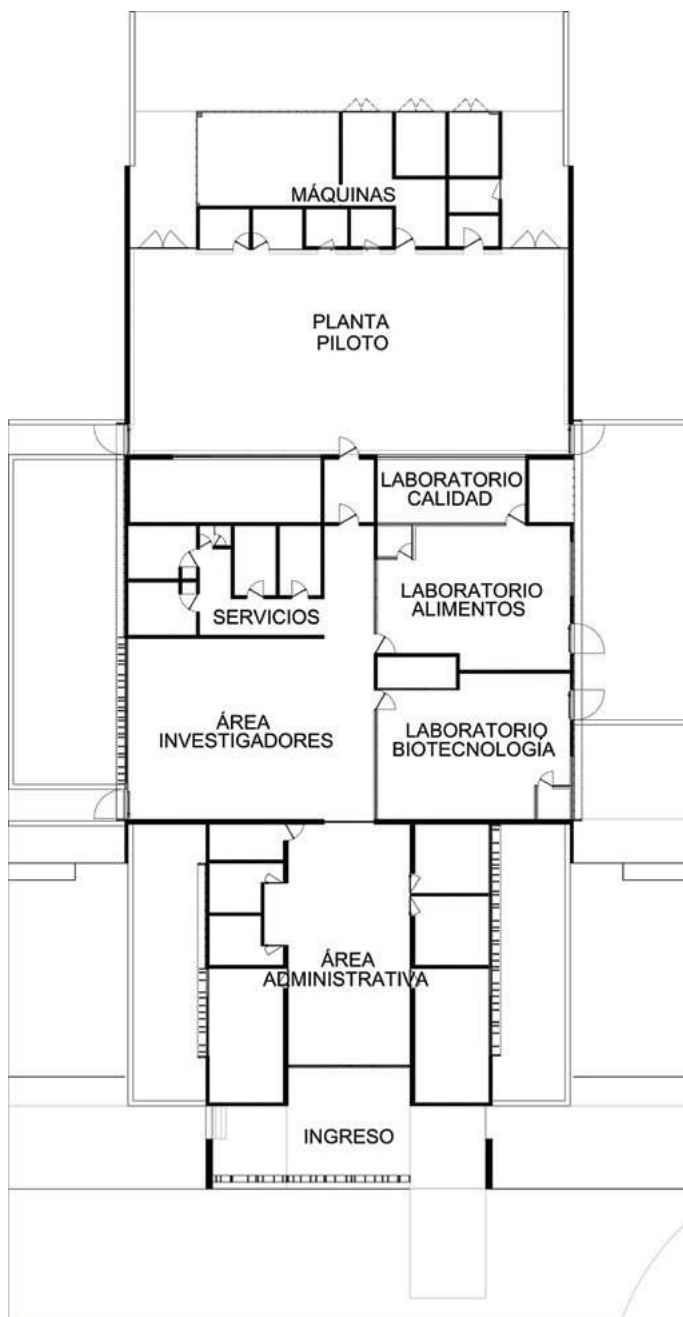


Figura 2. Vista del plano arquitectónico del CIATEJ



a)



b)

Figura 3. Vista de la Unidad Sureste del CIATEJ
a) Ingreso principal, b) Vista posterior



Figura 4. Avances de obra de la Planta Piloto de Alimentos y los Laboratorios de la Unidad Sureste del CIATEJ

8.3.1.1. Servicios en la PPA

Algunos de los servicios que ofrecerá la PPA se enlistan a continuación:

Proyectos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico

Se realizarán proyectos de investigación enfocados al desarrollo tecnológico de la región de Yucatán, con miras a la aplicación de procesos innovadores que involucren el uso y aprovechamiento de los productos regionales. Uno de los objetivos es impulsar la aplicación a nivel industrial, de proyectos con base tecnológica, de modo que permita el desarrollo económico de Yucatán.

Escalamiento de procesos desarrollados a nivel laboratorio

Se ofrecerá el servicio de escalamiento de procesos, con el fin de lograr que un proceso realizado en escala de laboratorio sea exitoso a escala piloto o industrial, reto en el que hay que considerar y controlar parámetros fundamentales como la semejanza geométrica. Esta etapa importante podrá ser realizada gracias a la calidad científica e infraestructura con la que se cuenta en la Unidad.

Servicios a la industria para la producción de lotes de mercadeo

Este servicio se ofrecerá a las industrias con el objetivo de realizar una valorización de los costos de producción de algún producto novedoso o de interés. Se podrán hacer estimaciones de costos de mano de obra y gasto energético, y cómo estos factores impactarán el costo de producción y costo del producto final. Así, se realizarán proyecciones en el desarrollo de un producto de escala piloto a industrial.

Producción de prototipos

En algunos casos es necesario visualizar el producto de interés antes de comercializarlo, para ello la planta piloto cuenta con la maquinaria necesaria para llevar a cabo la producción de diversos productos alimenticios bajo las condiciones dictadas por el productor.

Capacitación de personal

Se ofrecerá el servicio de capacitación en actividades teóricas y prácticas que satisfagan las necesidades de la empresa o institución que lo desee, dirigidas al personal que se capacite, con el objetivo de que éstos adquieran nuevos conocimientos y habilidades técnico científicas.

8.3.1.2. Líneas de proceso

La Planta Piloto de Alimentos contará con seis líneas de proceso en las que se contempla el acondicionamiento de la materia prima, la obtención de pulpas y bebidas, la preparación de alimentos nutracéuticos, la extracción de oleorresinas y aceites esenciales, el envasado de bebidas y productos regionales y finalmente la elaboración de conservas de frutas y verduras.

Acondicionamiento de la materia prima

Esta línea fue diseñada para preparar la materia prima antes de su posterior etapa de procesamiento. Los equipos con los que cuenta esta línea de proceso son: lavadora de frutas y vegetales, molino triturador de fruta, precocedor tipo helicoidal, molino coloidal y despulpador, carro tina, motobomba sanitaria, carro tanque y cortadora de verduras.

Obtención de pulpas y bebidas

Esta línea fue diseñada para obtener, a escala piloto, bebidas y pulpas de frutas y/o vegetales, para lo cual se contempla la aplicación de diferentes operaciones unitarias fundamentales para llevar a cabo el proceso. En esta línea los equipos con los que se cuenta son: pasteurizador tubular, túnel de pasteurización, evaporador de película descendente, molino triturador de tornillo, destilador por arrastre de vapor, secador de charolas, enjuagadora-sopladora para botellas, dosificadora y taponadora, selladora de bolsas al vacío, envasado al vacío o atmósferas controladas, mesa de trabajo, llenadora automática volumétrica, mesa para taponadora, extractor de jugos de cítricos y molino coloidal.

Preparación de alimentos nutraceuticos

Fue diseñada para impulsar la producción de alimentos con propiedades nutrimentales y farmacéuticas, con efectos benéficos en la salud humana. Esta línea cuenta con los equipos siguientes: extrusor de tipo tornillo sinfín, secador por aspersión y fermentador de 100 litros con controles de pH, temperatura y oxígeno.

Extracción de oleorresinas y aceites esenciales

Esta línea de proceso se diseñó con el objetivo de aprovechar los desechos agroindustriales que se generan y que aún poseen metabolitos de alto valor comercial y nutrimental. De ahí que las operaciones seleccionadas a utilizar en la línea contemplan la extracción con fluidos supercríticos. Los equipos incluidos en esta línea son: tina de recolección de aceite ligero y pesado, sistema de extracción de fluidos supercríticos y centrifuga refrigerada.

Conservas de frutas y verduras

La línea de proceso dedicada a la conserva de frutas y verduras está diseñada para la formulación de nuevos productos, reducción de la actividad de agua para la conservación y disminución de la flora presente en las frutas y verduras, así como minimizar los efectos del oscurecimiento enzimático. En esta línea de procesos se cuenta con: evaporador-concentrador a vacío, tanque de mezcla, cortadora de verduras y tanque cilíndrico vertical.

Envasado de bebidas y productos regionales

Esta línea fue diseñada para generar el envasado final de productos regionales en empaques flexibles para su distribución y comercialización, con una presentación atractiva y que asegure que la calidad e inocuidad del producto se mantenga bajo las normas de calidad imperantes en el país. Para lograr esto se empleará un proceso que evitará el deterioro del sabor, color y textura de los alimentos; la alteración del contenido nutrimental, o bien, la alteración sería mínima; con lo cual se obtendrá un producto con características similares al fresco, se reducirán los tiempos de procesamiento, lo que lleva a un menor consumo energético y habrá un mayor control sobre el desarrollo de microorganismos y procesos enzimáticos.

En esta línea se cuenta con el equipo de esterilización de envases flexibles. Adicionalmente, se tienen equipos que suministrarán agua, gas y aire comprimido.

8.3.2. Laboratorios Unidad Sureste

Los laboratorios en el primer edificio de la Unidad serán tres: el Laboratorio de Alimentos, el Laboratorio de Procesos Biotecnológicos y el Laboratorio de Calidad. Estos laboratorios serán básicos para la generación de proyectos interinstitucionales y para brindar servicios con tecnología de alto nivel a los sectores académico, productivo y empresarial en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán, dentro del marco del SIIDETEX.

8.3.2.1. Laboratorio de Alimentos

Las enfermedades transmitidas por los alimentos suponen un importante problema mundial en lo referente a salud, por lo que la inocuidad de los alimentos engloba acciones encaminadas a garantizar la máxima seguridad de los alimentos. Además, actualmente se requiere de la producción de nuevos alimentos y de bebidas con características mejoradas con respecto de su calidad nutricional, calidad sensorial, entre otras.

Para alcanzar estos objetivos se tendrán las siguientes líneas de investigación en este laboratorio:

- Inocuidad alimentaria
- Ingeniería y Tecnología de Procesos Alimentarios
- Desarrollo y Calidad de Alimentos y Bebidas

8.3.2.2. Laboratorio de Procesos Biotecnológicos

En los procesos agroindustriales se generan residuos que sin el adecuado manejo conllevan a problemas ambientales. El manejo de estos

desechos es vital ya que estos materiales contienen compuestos como carbohidratos complejos, fibras celulósicas, entre otras, que pueden ser transformados en compuestos alternativos de interés industrial, de ahí que en este laboratorio se abordarán las siguientes líneas de investigación:

- Diseño, optimización y aplicación de biocatalizadores
- Diseño y optimización de procesos fermentativos

8.3.2.3. Laboratorio de Calidad

Durante el desarrollo y producción de alimentos es indispensable conocer la calidad de las materias primas utilizadas, así como del producto terminado. Para la determinación de la calidad de un alimento se requiere del análisis de diversas características que, en conjunto, determinan la calidad sensorial, organoléptica, tecnológica y económica. El Laboratorio de Calidad de los alimentos desempeñará una función elemental que tendrá como objeto el análisis de la materia prima, y del producto final, referente a la caracterización y calidad, además de la trazabilidad de los alimentos durante los procesos industriales, por lo que contará con el área de análisis fisicoquímicos y cromatografía (HPLC y Gases)

8.3.3. Prospectiva de la investigación

8.3.3.1. Infraestructura para micropropagación y mejoramiento genético de plantas

Entre las fuentes de energía alternativas se encuentran los biocombustibles provenientes de vegetales no comestibles, como la planta *Jatropha curcas* cuyo aceite puede usarse para funcionamiento de maquinaria y generación de energía eléctrica, que lo hace un sustituto “verde” ideal para la industria.

El proyecto “Mejoramiento genético de *Jatropha* para generar al menos una variedad con alto rendimiento agronómico, alto contenido de aceite y baja toxicidad para la obtención de biodiesel” tiene por

objetivo el equipamiento de un área para las líneas de investigación de micropropagación, mejoramiento genético y fitopatología de plantas.

Dicho proyecto dio inicio en el 2012 apoyado por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT con duración de 6 años, cuyo presupuesto está destinado para obra civil y para equipamiento de un área para las líneas de investigación a desarrollar.

La obra civil (Figura 5) de estas líneas la constituyen: una construcción de cinco espacios, un área de 25 m² de fitopatología para la valoración de tolerancia a enfermedades, un área común de preparación de material y medios de cultivo, dos cuartos de cultivo *in vitro* (25 m² cada cuarto, uno para fotoperiodo y otro para luz continua) para incubación de cultivos *in vitro* y el mantenimiento de los plántulas *in vitro*, un área para biología molecular de 50 m² y una casa sombra de 200 m² para la fase de aclimatación de las plántulas obtenidas *in vitro*.

Además, algunos de los equipos con los que contará la infraestructura de floricultura serán: termociclador para la evaluación con marcadores moleculares, utilizado para el mejoramiento genético; planta de energía eléctrica; una balanza analítica; una cámara fotográfica; una campana de extracción de vapores; islas de trabajo de acero inoxidable; un orbitador para agitación de cultivos en medios líquidos; dos cámaras de electroforesis con fuente de poder y sistema de aires acondicionados.

También, parrillas de calentamiento; anaqueles con acabados especiales para mantener la asepsia de los cultivos y para mantenimiento de cultivos en propagación *in vitro*; un refrigerador para conservación de muestras de polen traídas de campo; un microscopio para observación de estructuras florales, polen y una autoclave automática. Así también, se cuenta con el diseño arquitectónico de este laboratorio (Figura 6).

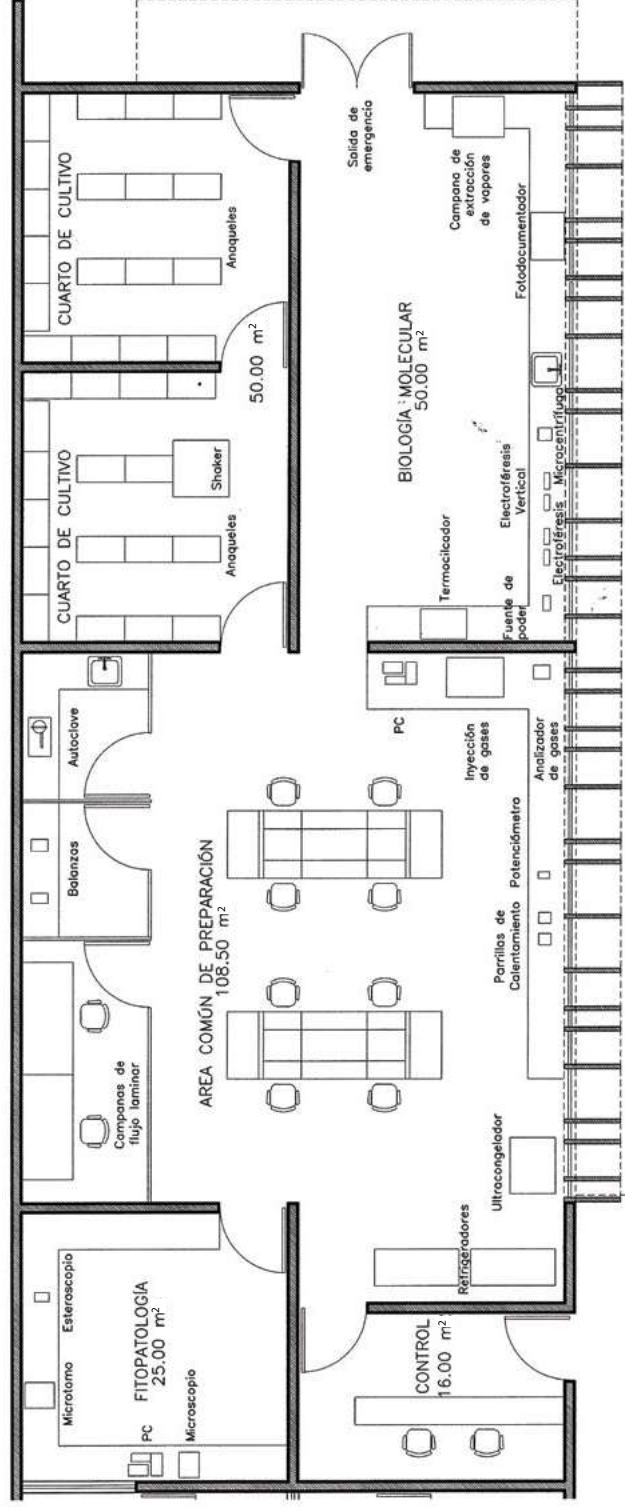


Figura 5. Vista del plano arquitectónico del Laboratorio de Micropropagación y Mejoramiento Genético de Plantas



Figura 6. Vista del ingreso principal del Laboratorio de Micropropagación y Mejoramiento Genético de Plantas de la Unidad Sureste del CIATEJ
a) lateral, b) frontal

8.3.3.2. Laboratorio de Servicios Regionales para el Chile Habanero

El mercado nacional e internacional distingue al chile habanero que se produce en la península de Yucatán, de entre los provenientes de otras zonas productoras, por sus características de sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel. Estas características son otorgadas al chile habanero gracias a las condiciones especiales de la región. La Denominación de Origen “Chile Habanero de la Península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.)” producido en los estados de Yucatán, Quintana Roo y Campeche fue otorgada el 4 de junio de 2010. La creación del Laboratorio de Servicios Regionales para el Chile Habanero surgió gracias a la necesidad que los productores de chile habanero tenían de contar con un laboratorio de pruebas acreditadas en chile habanero establecidas por la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-000-SCFI-2010 “Chile Habanero de la península de Yucatán” que está actualmente en revisión.

El Laboratorio Regional será un laboratorio de servicios que beneficiará a todo el sector chilero de la región de la península de Yucatán. Se implementarán estrategias de seguridad alimentaria, así como las pruebas analíticas, fisicoquímicas y microbiológicas tanto en chile habanero como fruto fresco o procesado. Además, se pondrán a disposición proyectos metodológicos y operativos tanto en los esquemas de producción en campo como en la industria, esto basado en manuales de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

El Laboratorio de Servicios Regionales para el Chile Habanero tendrá un área de 300 m² dentro del edificio del CIATEJ en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán. Este laboratorio contará con áreas analíticas para pruebas fisicoquímicas y microbiológicas. Además, contará con un área de cromatografía destinada exclusivamente para realizar pruebas de determinación de capsaicina para chile habanero. La importancia del área de cromatografía para la detección de capsaicina tiene sus bases en determinar analíticamente las concentraciones de este compuesto en chile habanero, ya que el chile

habanero producido en la península de Yucatán es conocido como uno de los pimientos más picantes del mundo, debido a que posee una pungencia entre 150,000 y 350,000 Unidades Scoville, la cual es la característica de calidad más importante del fruto.

Se examinarán los defectos en la superficie y se realizará una clasificación del chile habanero de acuerdo con el tamaño. Estas características son determinantes en el precio del producto que se va a ofertar en el mercado, tanto nacional como internacional. Las pruebas microbiológicas verificarán que los productos estén exentos de microorganismos o sustancias producidas por éstos, en cantidades que puedan representar un peligro para la salud del consumidor.

En general, el Laboratorio de Servicios Regionales para el Chile Habanero tendrá un impacto positivo en la cadena de producción, especialmente en la comercialización de los productos frescos y derivados, beneficiando económicamente tanto a productores como a empresarios de la región de Yucatán ya que se prestarán los servicios y pruebas que requieren sus productos y así poder comercializarlos con mayor facilidad a nivel nacional y en el extranjero.


8.4. CONCLUSIONES

Con su infraestructura, la Unidad Sureste del CIATEJ se consolidará como una herramienta determinante en el marco de competitividad nacional e internacional, ya que formará recursos humanos de alto nivel, desarrollará proyectos de investigación de frontera, realizará transferencia de tecnología y asistencia a la industria de alimentos y diseñará procesos y/o productos de alimentación de nueva generación. Además, se reforzarán los vínculos de colaboración interinstitucional entre grupos de investigación o cuerpos académicos, relacionados con las líneas de investigación para impulsar la capacidad innovadora de la región. Esto será posible gracias a los Laboratorios de Investigación en Alimentos, Calidad y Desarrollo Tecnológico, así como la Planta Piloto de Alimentos, el Laboratorio de Servicios Regionales para el Chile Habanero y la infraestructura destinada a la

investigación, en el Área de Micropropagación y Mejoramiento Genético de Plantas. Todo el equipamiento que tendrá el CIATEJ en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán se reflejará en un amplio desarrollo económico, social y humano, el cual tendrá un impacto benéfico en el crecimiento del estado de Yucatán y del país.

8.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya-Durand A y Pedroza-Flores H (2008). "Escalamiento, el arte de la Ingeniería Química: Plantas Piloto, el paso entre el huevo y la gallina". *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)* 23(1): 31-39.
- Baasel WD (1990). *Preliminary Chemical Engineering Plant Design*. 2nd Ed., pp. 575.
- Gobierno del Estado de Yucatán (2011). Ley de Fomento al Desarrollo Científico, Tecnológico y a la Innovación del Estado de Yucatán. México, pp. 90.
- Gobierno del Estado de Yucatán (2007). Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Yucatán 2007-2012. Yucatán, México, pp. 209.
- Well ML, Balik SB, Calocofe RB, Crew CW, Sanftleben RA, and Wood AW (2006). Chapter 208: Pilot Plan Design. In: *Encyclopedia of Pharmaceutical Technology*. 3rd Ed., pp. 2875-2885.



*CIATEJ: Una década de investigación e innovación
en el sureste de México*

se terminó de imprimir en octubre de 2012
en Grupo Impresor Unicornio SA de CV, calle 41 Núm. 501
por 60 y 62 Centro CP 97000, Mérida, Yucatán, México.
Tels. (999) 923 03 89 y 928 68 52.
www.imprensaunicornio.com.mx

El tiraje fue de 1,000 ejemplares, en papel couché de 115 g
mate importado para los interiores, en color.
Los forros, con solapa, se imprimieron en cartulina
sulfatada de 14 puntos, de una cara, en laminado mate,
encuadernado en hot melt.

Impreso en Mérida-México
Printed in Merida-Mexico

