



**CICY:**  
**treinta años de labor**  
**científica y educativa**

Editores:  
Dr. Luis del Castillo  
Dr. Manuel L. Robert  
Dr. Alfonso Larqué  
Dr. Inocencio Higuera





Libro Conmemorativo del XXX ANIVERSARIO del CICY

 **CICY:**  
**treinta años de labor  
científica y educativa**

Editores:

Dr. Luis del Castillo Mora  
Dr. Manuel L. Robert Díaz  
Dr. Alfonso Larqué Saavedra  
Dr. Inocencio Higuera Ciapara

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.  
Mérida, Yucatán, México.  
2010

© Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C.  
Calle 43 # 130, Col. Chuburná de Hidalgo  
C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México.

Centro Público de Investigación del Sistema Conacyt.

ISBN: 978-607-7823-04-9

Primera edición: Marzo 2010.

Cuidado editorial: Gabriela Herrera Martínez  
Diseño editorial: Norma Marmolejo Quintero

Impreso y hecho en México.

# Contenido

PRÓLOGO	V
<i>Mtro. Juan Carlos Romero Hicks</i>	
PRESENTACIÓN	IX
<i>Dr. Inocencio Higuera Ciapara</i>	
PRIMERA PARTE	
<b>SECCIÓN I: LOS ORÍGENES</b>	
1. Una mirada retroactiva al Yucatán del henequén	3
<i>Dr. Francisco Luna Kan</i>	
2. El Conacyt, los primeros centros de investigación, en particular, el CICY	11
<i>Dr. Raúl N. Ondarza Vidaurreta</i>	
3. El inicio	17
<i>Dr. Luis del Castillo Mora</i>	
<b>SECCIÓN II: LAS PRIMERAS INVESTIGACIONES: EL HENEQUÉN</b>	
4. Estudios Ecológicos y Regionales	31
<i>Dr. Roger Orellana Lanza</i>	
5. El cultivo <i>in vitro</i> para el mejoramiento de la productividad de las plantaciones de henequén: uno de los primeros objetivos del CICY	41
<i>Dr. Manuel Robert</i>	
6. Química Aplicada y la División de Química	51
<i>Dr. Carlos Cruz Ramos</i>	
<b>SECCIÓN III: UN POCO DE HISTORIA</b>	
7. 1990-1998 Una retrospectiva personal	65
<i>Dr. Manuel Robert</i>	
8. El CICY en el período 1998-2008	77
<i>Dr. Alfonso Larqué Saavedra</i>	

9. La creación del Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas del CICY.  
Un punto de vista personal 87  
*Dr. Victor M. Loyola Vargas*
10. El Posgrado en el CICY (periodo 2003-2009) 101  
*Dr. Pedro J. Herrera Franco*

## SEGUNDA PARTE

### SECCIÓN IV: LOS TEMAS DE INVESTIGACIÓN

11. Agaves, frijol y agricultura maya 113  
*Dra. Patricia Colunga GarcíaMarín*
12. El estudio de *Catharanthus roseus* como base para la formación de nuevos investigadores 121  
*Dr. Victor M. Loyola Vargas*
13. Jardín Botánico Regional del CICY 139  
*Dr. Roger Orellana Lanza, Dra. Patricia Colunga GarcíaMarín y Dr. Sigfredo Escalante Rebolledo*
14. Veinticinco años de altibajos en la investigación sobre *Agave tequilana* para la industria tequilera 145  
*Dr. Manuel Robert*
15. Esteroides 153  
*Dra. M. Marcela Gamboa Angulo e Ing. Leonardo Gus Peltinovich*
16. Programa de investigación sobre amarillamiento letal y cocotero 159  
*Dr. Carlos Oropeza Salín y Dr. Daniel Zizumbo Villarreal*
17. Los materiales compuestos y la Unidad de Materiales 169  
*Dr. Gonzalo Canché Escamilla*
18. El Herbario CICY 179  
*Dr. Germán Carnevali Fernández-Concha*
19. La investigación en Química de Productos Naturales en el CICY 187  
*Dr. Luis Manuel Peña Rodríguez*
20. Mejoramiento genético del cempasúchil: El desarrollo de líneas clonales sobreproductoras 195  
*Dr. Manuel Robert*

21. Estudios realizados con palmeras <i>Dr. Roger Orellana Lanza</i>	205
22. Bromelias y Orquídeas <i>Dra. Ivón M. Ramírez Morillo y Dr. Germán Carnevali Fernández-Concha</i>	215
23. Café del CICY para el campo. Una historia <i>Dr. Víctor M. Loyola Vargas</i>	227
24. Historia de la investigación de 1990 a 2009 en CICY sobre <i>Musa ssp.</i> y <i>Mycosphaerella</i> <i>Dra. Rosa Ma. Escobedo Gracia Medrano y Dr. Andrew James Kay</i>	241
25. Achiote ( <i>Bixa orellana</i> L.) <i>Dr. Gregorio Godoy Hernández y Dra. Renata Rivera Madrid</i>	251
26. Programa de investigación y transferencia de tecnología en papaya <i>Dr. Jorge M. Santamaría Fernández</i>	259
27. Chile Habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) <i>Dr. Nancy Santana Buzzy</i>	269
28. Biomateriales para aplicaciones médicas <i>Dr. Juan Valerio Cauich Rodríguez y Dr. José Manuel Cervantes Uc</i>	279
29. Biodiversidad <i>Dr. Rafael Durán García</i>	287
30. El Centro para el Estudio del Agua y su labor <i>Dr. Mario Rebolledo Vieyra y Dr. Alfonso Larqué Saavedra</i>	295
31. Bioenergía <i>Dra. Mascha A. Smit y Dra. Liliana Alzate Gaviria</i>	301

### TERCERA PARTE

#### **SECCIÓN V: EL CONTACTO CON LA SOCIEDAD**

32. El Vivero de Plantas Nativas del Jardín Botánico Regional del CICY <i>Dr. Sigfredo Escalante Rebolledo</i>	309
--	-----



33. Historia del Laboratorio de Metrología CICY <i>Dr. Donny Víctor Ponce Marbán e Ing. Javier Enrique Escalante Estrella</i>	315
34. El Grupo de Estudios Moleculares Aplicados a la Biología <i>Dra. Daisy de la C. Pérez Brito</i>	321
35. El programa de Educación Ambiental del CICY <i>M.C. Verónica Franco Toríz</i>	325
36. La Vinculación en el CICY <i>Dr. Inocencio Higuera Ciapara</i>	333
<b>SECCIÓN VI: HACIA EL FUTURO</b>	
37. El CICY: piedra angular en la reactivación de la actividad henequenera del Siglo XXI <i>QFB. Lucely Alpizar Carrillo</i>	343
38. La participación del CICY en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán <i>Dr. Alfonso Larqué Saavedra</i>	349
39. Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas <i>Dr. José Juan Zúñiga Aguilar</i>	357
40. La Unidad de Biotecnología <i>Dr. Sergio R. Peraza Sánchez</i>	365
41. Unidad de Recursos Naturales <i>Dr. Rafael Durán García</i>	373
42. Unidad de Materiales <i>Dr. Manuel Aguilar Vega</i>	377
43. Unidad de Ciencias del Agua: el agua y la investigación científica <i>Dr. Mario Rebolledo Vieyra</i>	383
44. Perspectivas para la investigación en el CICY <i>Dr. Inocencio Higuera Ciapara</i>	389

ÍNDICE ONOMÁSTICO	XI
-------------------	----



## Prólogo

Las vocaciones científicas, así como las artísticas surgen de nuestra tendencia primaria por explorar lo desconocido, entender nuestro entorno y quererlo transformar, estas actitudes que muestran los niños debemos mantenerlas y fomentarlas, pues en la medida en que la Ciencia, la Tecnología y la Innovación pierdan su halo de misterio y sean entendidas como un reto del saber humano tendremos más científicos y tecnólogos.

Estamos convencidos que el despegue de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación tiene como uno de sus fundamentos principales fomentar las vocaciones científicas desde edades muy tempranas y lograr que la población en general se apropie de estos temas como algo cotidiano, como parte de su entorno y como instrumentos para su desarrollo personal y colectivo. Necesitamos hacer nuestro el pensamiento que tenía Einstein con respecto al quehacer científico, que para él era: “el sentimiento maravilloso de descubrir las características unificadoras de un complejo de fenómenos diversos que parecen totalmente desconectados en la experiencia de los sentidos”.

Desarrollo científico, éste es un concepto que, dependiendo del contexto en que se concibe, posee diversas connotaciones que producen cambios importantes a diferentes niveles. En el caso particular del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), muchos de esos cambios, y que en esta obra se abordan, tuvieron que ver con el fomento del desarrollo científico en una región del país que, hasta la década de los setenta, no había sido incorporada por completo al proyecto de descentralización de la ciencia que las autoridades federales fomentaban en ese momento.

Hoy tenemos la certeza de que el desarrollo científico y tecnológico son elementos necesarios para el progreso de las sociedades. La labor de formar, de compartir las herramientas del conocimiento y de establecer las bases para que las jóvenes generaciones continúen con este esfuerzo, es una tarea que diariamente se busca fortalecer al interior del CICY.

En este año se festejan tres décadas de existencia de una institución que nació con la encomienda de auxiliar a un sector específico, cuyo emblemático producto atravesaba por una severa crisis. A partir del 16 de noviembre de 1979, el CICY buscaría aportar soluciones reales a esas problemáticas; dada la naturaleza expansionista de la ciencia y el conocimiento, este Centro Público de Investigación pronto adoptaría enfoques más amplios que, poco a poco y con el paso del tiempo, le permitieron abarcar una gama más completa en materia académica.

¿Cuáles fueron las circunstancias que determinaron la instauración de esta noble institución?, ¿qué proyectos fueron los primeros en concebirse?, ¿hacia dónde se enfocarían sus primeras líneas de investigación? son, sin duda, preguntas que encuentran respuesta en el recuento que realiza este libro a treinta años de distancia, pues fueron cuestionamientos a partir de los cuales se dio continuidad al trabajo que hoy se ha consolidado y que estamos seguros que continuará gracias a la participación de las nuevas generaciones.

A lo largo de los capítulos que comprenden esta obra, el lector conocerá los orígenes del CICY, así como las circunstancias que llevaron a un pequeño grupo de profesionales a asumir el compromiso de cumplir con un decreto oficial que llevaría la ciencia en apoyo del sector henequenero. Asimismo, tendrá la oportunidad de conocer, de letra de los exdirectores de la institución, los enormes retos que supuso concebir y desarrollar un centro de investigación, pero también cómo poco a poco y con ayuda de un personal técnico comprometido, éstos fueron superados paulatinamente, hasta fortalecer cada una de sus áreas.

Por supuesto, también en este libro se abordan temáticas clave como son los proyectos que han sido pilares dentro de la actividad académica de la institución, así como los que han marcado una nueva vertiente dentro de las actividades de investigación. El importante contacto que el Centro ha buscado establecer con la sociedad también será tratado como el compromiso permanente que toda institución de carácter público tiene.

Para cerrar esta obra, se presentan las expectativas que el CICY se ha planteado al interior de sus áreas de investigación, ejercicio que permitirá al Centro a evaluar los objetivos logrados hasta ahora y que ayudará, sin duda, a descifrar los caminos futuros que debe de tomar esta noble institución.

¿Qué sigue después de estas tres décadas de trabajo y hacia dónde encaminará el CICY sus esfuerzos? En los años venideros, más trabajo, más excelencia académica, más pertinencia social, pues las ciencias exactas y naturales son una herramienta fundamental en el desarrollo del país y los Centros Públicos de Investigación tienen la noble tarea de impulsar el bienestar de la sociedad a través del conocimiento, misión que deben cumplir cabalmente, más que nunca, en tiempos de crisis.

Hago un reconocimiento a todos y cada uno de los integrantes de la institución por su esfuerzo, dedicación y compromiso mostrados a lo largo de treinta intensos años de trabajo en los que día a día se ha fortalecido la labor del CICY: poner el conocimiento al servicio de la sociedad y fomentar el desarrollo humano a través de la enseñanza académica. Les deseo muchos años más de éxitos.

*Mtro. Juan Carlos Romero Hicks*  
*Director General*  
*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*



## Presentación

En una década donde la descentralización de la ciencia fue iniciativa política convertida en acciones concretas, surgieron centros de investigación a lo largo y ancho del país, con la participación de gobiernos estatales, instituciones de educación superior y entidades públicas. El Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY) tuvo su origen a finales de esa década, a raíz de una gira presidencial en la que estuvieron el director general del Conacyt y el gobernador de Yucatán, donde salió a relucir la situación de los henequeneros y se mencionó como solución, la idea de crear un centro público de investigación orientado a ese cultivo y su problemática. Eran los años 70's y esa idea del Presidente —prácticamente, una orden presidencial— se cristalizó el 16 de noviembre de 1979, cuando se firmó el acta constitutiva del CICY.

Con ese espíritu de acercar la ciencia a todas las regiones de México, para atender las necesidades locales y resolver las problemáticas específicas, el CICY empezó a operar sin instalaciones, equipo ni director general; sólo un puñado de personas integradas en unos pocos grupos de trabajo en el Distrito Federal; meses después, algunas de ellas se trasladaron a Mérida (a la casa de la Calle 60, en el centro de la ciudad), y luego se inició la construcción de las instalaciones —a las que llegaron las demás personas cuando se inauguraron— en un terreno donado por el gobierno del Estado, al norte de la ciudad. Tal vez fue coincidencia; tal vez, simbolismo del cultivo al que, desde su creación, el CICY ha estado ligado, pues ese terreno donde se edificó el CICY era un henequenal abandonado en la antigua hacienda de Chuburná.

Así fue el comienzo. Así inició la aventura, el crecimiento, la experiencia, los logros, las oportunidades y los retos que han conformado la historia del CICY; historia que han escrito día a día las mujeres y los hombres que han colaborado con el Centro: personas que han transitado a través de él, han crecido con él, han evolucionado gracias a él, han permanecido en él o han seguido otro camino, dejando su huella —o su vida— en el trayecto, y han

aportado su talento, su trabajo, su voluntad, su esfuerzo, su pasión, su conocimiento, su entrega, su experiencia; historia de treinta años del CICY.

A lo largo de todo este tiempo, muchas personas le han dado vida al CICY. Recordamos especialmente a las quince cuya partida del Centro también fue de esta vida: Brenda Sánchez, Keith Scorer, Lilliane Hasson Benatar, Francisco Vergara, Juan Duch Gary, Isidro Castorena, Pedro Fuentes, Ingrid Olmsted, Mykola Piven, Armando Escamilla Bencomo, Manuel Pech, Isabel Durán, Fernando Herrera Quiroz, Manuel J. Álvarez Díaz y Feliciano Cua Chan.

Una gran cantidad de proyectos se han desarrollado en el CICY a lo largo de estos 30 años. Muchos temas de investigación y objetos de estudio se han abordado para resolver necesidades y generar conocimiento útil a la sociedad en muchas formas: como avances de la ciencia, como desarrollos tecnológicos, como respuestas específicas, como transferencias de tecnología....

La historia del CICY es nuestra historia y ha quedado como el prólogo de lo que vendrá, y como apuntara Neruda: “El futuro es espacio, espacio color de tierra, color de nube, color de agua...”, color de las cosas que estudiamos en el CICY, color de oportunidad, porque al igual que Víctor Hugo, creemos que el futuro tiene el nombre que nos propongamos, y estos treinta años son, definitivamente, un excelente punto de partida.

Treinta años. Cuatro sílabas que fácilmente se convierten en tres (trein-taa-ños), en dos (trein-ta) o se reducen a una si hablamos de décadas (tres). Sin embargo, la economía de las palabras dista mucho de la labor y el esfuerzo que el Centro de Investigación Científica de Yucatán ha realizado desde su fundación. *CICY: Treinta años de labor científica y educativa* recopila textos de algunos de los actores que han escrito esta historia, a modo de testimonio o ejercicio retrospectivo que nos permite ver de dónde vinimos, dónde estamos y hacia dónde vamos. Esperamos disfrute estas páginas que hablan del talento, la voluntad y el trabajo que han estado presentes todo este tiempo como los verdaderos responsables de la historia del CICY.

*Dr. Inocencio Higuera Ciapara*  
*Director General CICY*



# PRIMERA PARTE



## Sección I: Los orígenes





## Una mirada retroactiva al Yucatán del henequén

*Francisco Luna Kan*

En 1915, Don Venustiano Carranza, Jefe del Ejército Constitucionalista, envió a Yucatán al Gral. Salvador Alvarado, con el cargo de Gobernador de la entidad. Con sus tropas, desembarcó en Campeche y emprendió la marcha a territorio yucateco. En el poblado de Poc Boc sostuvo su primer combate. Al llegar a los límites territoriales de Campeche y Yucatán, en el pueblo de Halachó tuvo un encuentro con un grupo armado en el que figuraban varios estudiantes del Instituto Literario, que se embarcaron en la aventura solapada por intereses económicos, principalmente de varios hacendados henequeneros.

La obra de gobierno del Sinaloense fue a favor de la liberación política, económica y cultural de los campesinos mayas de Yucatán. Favoreció la libertad de movilización de los casi esclavos de las haciendas henequeneras. Abolió el derecho de pernada que muchos de ellos ejercían. Implantó la enseñanza elemental en el campo henequenero.

Con gran perspicacia realizó un programa de atracción de los hacendados para satisfacer la comercialización de la fibra del agave. Fundó la Comisión Reguladora del Mercado del Henequén. Durante su administración se registró la producción de 600 mil pacas, cifra que queda como una marca nunca igualada.

A pesar de los esfuerzos por la liberación de los campesinos, el Gral. Alvarado contribuyó para que aumentaran los ingresos económicos de los hacendados, a los cuales endilgó la denominación de “la Casta Divina”. Fue autor de varias leyes (las cinco hermanas), reportes escritos, y el principal testimonio de sus memorias figura en el libro que denominó *Mi Actuación Revolucionaria en Yucatán*.

La Reforma Agraria en Yucatán, realizada por el Presidente Lázaro Cárdenas en el año de 1937, fue un acto de justicia social

enmarcado en el Primer Plan Sexenal de un gobierno surgido de los principios de la Revolución Mexicana.

El reparto agrario realizado en el Cardenismo, al crear el Gran Ejido Henequenero en Yucatán, con base en las etapas del cultivo y explotación del henequén, otorgó a los ejidatarios superficies de tierra en cultivo y otra en fase de explotación, siendo esta última de cuatro hectáreas.

El decreto expropiatorio de Cárdenas previó el establecimiento de escuelas rurales, la mejoría de las comunicaciones y la creación de servicios médicos como acciones complementarias de gobierno. La banca oficial financió las labores de cultivo, de corte y desfibrado de las hojas del agave. El índice de producción nunca fue uniforme en la zona henequenera, en donde existían ejidos que producían 20 kg de fibra por millar de hojas y otras en que difícilmente alcanzaban los 10 kg.

Fue significativo el hecho de que la Reforma Cardenista incluyó la expropiación de las máquinas desfibradoras, que en el sexenio avilacamachista, volvieron en poder de los hacendados. En ellas se desfibraba el henequén ejidal y el de la pequeña propiedad, pero este último siempre reportaba mayor rendimiento de kilos de fibra por millar de hojas, no obstante que el henequén era de la misma calidad.

Una difícil etapa económica vivió el país con la expropiación petrolera. El gobierno nacional derivó grandes erogaciones para enfrentar el funcionamiento de la empresa nacionalizada y no pudo sostener la inversión para efectuar nuevas siembras de henequén. El Gobierno del Estado, en 1938 tuvo un presupuesto de cuatro millones de pesos, y el Banco Nacional de Crédito Ejidal, proyectaba para el periodo, 10 millones para siembras en la zona.

En esa etapa se creó un nuevo organismo para atender la crítica situación en el Estado: Henequeneros de Yucatán, que impulsó la industria cordelera.

En 1954, el gobierno federal dispuso la liquidación por quiebra de la empresa y transfirió sus funciones al Banco Nacional de Crédito Ejidal. La nueva crisis económica fue enfrentada con la creación de la empresa Cordemex, S.A., que tuvo varios aciertos: a) la ocupación continua para los obreros cordeleros; b) eliminó la posibilidad de *stocks* de la fibra, c) el gobierno mantendría vigilancia sobre la empresa.

El paso de Cordemex como organismo privado a otro con el mismo nombre pero con el carácter de empresa descentralizada enfrentó muchos problemas, a pesar de lo cual se satisfizo la demanda extranjera y nacional de los productos que elaboraba. Comenzaron los intentos de aprovechamiento integral: nuevas aplicaciones de la fibra y los subproductos y derivados de la planta: ceras, saponinas y celulosa.

El desarrollo del Estado entraba en nueva vertiente, pero su economía general fluctuaba en el trípode integrado por Banrural, Cordemex y el gobierno estatal, que ante esta situación no podía ejercer plenamente su autonomía política.

La llegada de Luis Echeverría a la Presidencia de la República abrió nuevas perspectivas al sureste del país. La red de carreteras unió los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán con el resto de la República. El desarrollo turístico de Cancún convirtió al Caribe mexicano en un polo de desarrollo que absorbió mano de obra precedente de todo el país, pero fundamentalmente de Yucatán.

El establecimiento de plantas maquiladoras, aunque de presencia temporal, contribuyó al incremento del empleo de hombres y mujeres. La actividad pesquera en su fase de captura y de empaque para exportación, ocupó a gente de la zona henequenera.

La extensión de la seguridad social a través del IMSS, ISSSTE y del cuidado de la población no asegurada por la Secretaría de Salud, aunado al saneamiento, principalmente por la introducción del agua potable en las poblaciones de mayor densidad poblacional, jugaron un perfil de la mayor trascendencia, aunque no pudo introducirse la red del drenaje público a pesar de haberse iniciado en el sexenio del Presidente López Portillo. El Arq. Pedro Ramírez Vázquez, Secretario de Obras Públicas, en el salón de la Historia del Palacio de Gobierno de Yucatán, dio a conocer el resultado del concurso.

La ganadería mayor y de especies menores había crecido en forma considerable a la par de la fruticultura.

Las comunicaciones de todo tipo al servicio del comercio y la industria han sido básicas para la convivencia de la comunidad yucateca que ha visto incrementar su población con una corriente migratoria de nacionales y extranjeros que han optado por establecerse en el Estado.

La experiencia individual del que escribe esta nota, derivada de las diferentes etapas de desarrollo físico y mental, en la formación progresiva del individuo, marca épocas definitivas en la historia personal. La enseñanza sistematizada confiere nuevas vivencias teóricas y prácticas en la evolución humana. Las oportunidades de ingresar a estudios superiores había sido una constante en el desarrollo del país aunque ahora se sufre el rechazo de muchos miles de jóvenes que quedan excluidos de la UNAM y el IPN en la ciudad de México; fenómeno que se reproduce en los centros de educación superior en los estados y el nuestro no es una excepción.

El autor de estas líneas tuvo oportunidad de estudiar en instituciones públicas, hasta los niveles de maestría. Las experiencias en el campo de la Salud Pública y el trabajo en ella, hicieron posible la formación de una conciencia de servicio social que por circunstancias especiales favorecieron el desarrollo de una carrera política en diferentes niveles.

Con ese enfoque de análisis, se aproximó el contacto con figuras de la investigación en el Instituto de Enfermedades Tropicales, en donde recibió enseñanzas de personalidades de la ciencia y la docencia, como Manuel Martínez Báez, Alberto P. León, Gerardo Varela Mariscal y Pedro Daniel Martínez, entre otros, en la Escuela e Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), en la que por cierto, conoció al Dr. Jorge Zavala Velázquez, que estaba en periodo de adiestramiento enviado por el Hideyo Noguchi, Centro Regional de Investigación de la Universidad, todavía no Autónoma, de Yucatán, fundado en 1975.

Con anterioridad, en los pequeños valles formados entre el lomerío de la llamada Sierrita del Sur del Estado, en 1965, se estableció el Centro de Investigaciones Agrícolas (CIAPY) promovido por la Secretaría de Agricultura y Ganadería, que fue básico para el aprovechamiento parcelario de las unidades de riego de la región. Los conocimientos prácticos de los campesinos de Muna y otros municipios se reforzaron con la asistencia técnica ofrecida por un grupo de extensionistas.

Por otra parte, en los ejidos del Plan Chaac, establecidos en la zona citrícola del sur de la entidad, se difundieron los principios del cuidado de las plantaciones de naranja dulce, como un trabajo de “extensionismo” promovido por la Comisión Nacional de Fruticultura (Conafrut). El establecimiento de una planta de extracción juguera complementó, años después, el programa citrícola.

Estos esfuerzos de apoyo a los agricultores, aunque no obedecían a un plan sistematizado de investigación, contribuyeron a profundizar la observación empírica que tenían los campesinos, en los sexenios de gobierno de Agustín Franco Aguilar (1958–1964) y de Luis Torres Mesías (1964–1970).

Con esos antecedentes y la gran responsabilidad de contribuir al progreso de Yucatán, uno de los caminos por andar estaba ya abierto por la buena disposición presidencial. El Lic. Luis Echeverría demostraba su preocupación real por sentar las bases del desarrollo que concebía en forma integral para los habitantes del Estado, y en forma especial, para los trabajadores del medio rural.

En el sexenio de José López Portillo, en un acuerdo presidencial, solicitó al Dr. Edmundo Flores, Director del Conacyt, que le acompañaba en gira de trabajo en el Estado, la concreción de los estudios para la instalación del Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Los trámites se aceleraron y tuvimos la suerte de que el hombre comisionado para el efecto fuera el Dr. Luis del Castillo, quien tuvo el valor de enfrentar la tarea para cuya realización carecía de todo: local, mobiliario, aparatos, instrumental, personal; pero en cambio, poseía la gran virtud de emprender una aventura respaldada por la convicción del pensamiento científico: abrir rutas con posibilidad de encontrar nuevos usos del henequén.

Me parece que desde el Dios Zamná, descubridor de las cualidades de la planta, no se había podido adelantar en el largo proceso de indagar sobre posible mejoría de su cultivo, transformación, utilización y rendimiento para beneficios del pueblo maya. Un joven científico había adquirido el compromiso, y un terco gobernante coincidente en propósitos comunes trataba de ofrecer lo único a su alcance: la capacidad de gestión.

El anuncio de apertura del CICY aumentó la especulación en unas personas que esperaban resultados espectaculares en tanto que en otras produjo el efecto de un programa más de los muchos que anteriormente se iniciaron con optimismo y quedaron sólo en recuerdo de frustraciones, perpetuantes del *status quo*, o que pudieran incluirse en otro episodio del “cultivo yucateco”, que por cierto, toma su nombre del cuidado de la planta.

Nuestro país, muy limitado en su desarrollo de ciencia y tecnología, no se decide a dar el paso trascendental para el financiamiento de estas disciplinas; la mayoría de las actividades especifi-

cas se llevan a cabo en centros de educación superior, entre los cuales, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Politécnico Nacional destacan en elevada proporción: 80 por ciento. Más grave la situación si recordamos que son pocas las grandes empresas particulares que invierten en esas actividades.

Se hace permanente el círculo negativo de destinar poca inversión para ciencia y tecnología, y por tanto, nuestra dependencia de la que nos llega se hace más intensa y extemporánea.

Las crisis financieras, económicas y políticas que se sufren a nivel mundial afectan más severamente a los países que, como el nuestro, arrastran enorme rezago educativo. En 1999, México ocupaba el lugar 31 en competitividad y para 2008, registramos el sitio 61 en este renglón. La OCDE ubica nuestro índice de desarrollo humano en la posición 57.

En México es deseable un desarrollo económico que se realice sin deterioro del medio ambiente; que en su proceso productivo predominen los conocimientos de ciencia y tecnología. Deseamos que el sector productivo empresarial posea una dinámica innovadora: con empleos productivos y bien remunerados, para satisfacer las necesidades básicas de la familia.

Para alcanzar tales objetivos necesitamos incidir en la esencia de la estructura social: la familia. En tanto no logremos la sana convivencia basada en la comunicación y comprensión de las responsabilidades familiares, continuaremos viviendo en ficción de “libertad”; que nos inclina a la flexibilidad de nuestras convicciones, desde las más elementales, hasta el elevado juicio de nuestra concepción política.

Hasta entonces estaremos aptos para contribuir a formular políticas de Estado en Ciencia, Tecnología e Innovación en una armónica relación de inversiones públicas y privadas en la comunidad nacional.

## **Referencias**

- Betancourt Pérez, Antonio. 1985. *Revoluciones y Crisis en la Economía de Yucatán*. Maldonado Editores, Mérida, Yuc.
- Pasos Peniche, Manuel. 1963. *El Henequén ayer, hoy y mañana*. Centro Regional del Instituto de Estudios Políticos, Económicos y Sociales del PRI. Mérida, Yuc.
- Pasos Peniche, Manuel. 1967. *Reflexión sobre el Desarrollo Económico de Yucatán*. Editorial Zamná, Mérida, Yuc.

- Pasos Peniche, Manuel. 1974. En Defensa de una Industria Mártir. Editorial Zamná, Mérida, Yuc.
- Pérez-Peraza, Jorge. Comunicación personal.
- Rudomin, Pablo. 1998. Reflexiones sobre la Comprensión Pública de la Ciencia. El Colegio Nacional, México, D.F.
- Ruibbal Corella, Juan A. 1976–1982. Salvador Alvarado. Insigne Revolucionario y Estadista. Ediciones del Gobierno de Yucatán.
- La Investigación en la Universidad de Yucatán, 1979–1980. Comisión de Planeación y Desarrollo de la UADY.
- Villanueva Mukul, Eric. 1996. Desarrollo Rural y Desarrollo Regional en Yucatán. Cámara de Diputados del Congreso de la Unión. LVI Legislatura. México, D.F.





# **El Conacyt: los primeros centros de investigación, en particular, el CICY**

*Raúl N. Ondarza Vidaurreta*

## **Mi etapa en el Conacyt: 1971-1982 (doce años)**

A partir de enero de 1971 hasta finales de 1982, durante doce años ocupé varios cargos en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), habiendo permanecido dos sexenios bajo la dirección de tres directores generales: Eugenio Méndez-Docurro, Gerardo Bueno y Edmundo Flores. Siempre gocé de toda la confianza de ellos y pude realizar varias tareas que considero importantes para el sector educativo y de la investigación científica y tecnológica en México.

Más tarde tuve el cargo por siete años de Director General del Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, en San Cristóbal de las Casas, Chiapas, del 23 de marzo de 1983 hasta finales de 1989.

Mi primera actividad en el Conacyt fue como Coordinador General de los Comités de Ciencias, que servían para evaluar programas y proyectos así como de consulta a varios temas de la problemática en la Educación Superior de México. Los comités eran de Física, Matemáticas, Química, Biología, Geología, Ciencias Médicas, Administrativas y otras. Cada uno de estos comités tenía un coordinador y estaba constituido por miembros destacados de la comunidad científica de México.

Otra de las tareas que desarrollé desde el principio fue la de Coordinador de la Comisión Asesora para la Reforma Educativa a Nivel Superior, encomendada por la Secretaría de Educación Pública (SEP) al Conacyt. Estuvo constituida por representantes de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), IPN (Instituto Politécnico Nacional), SEP, ANUIES (Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior) y el suscrito, por parte del Conacyt.

Se realizó un estudio que culminó con el documento “Aportaciones al Estudio de los Problemas de la Educación” con las

recomendaciones que comprenden tres Programas: I) Valoración preliminar de los Programas y Recomendaciones Prioritarias; II) Programa Nacional de Formación de Profesores de Educación Superior y de Fortalecimiento de la Investigación, y III) Programa de Mejoramiento de la Metodología de la Enseñanza Superior y Actualización de los Currícula.

En ese mismo año, en 1971 acompañé al secretario de Educación Pública, Ing. Víctor Bravo Ahuja, y al Director General del Conacyt, Ing. Eugenio Méndez-Docurro, quien al mismo tiempo era Secretario de Comunicaciones y Transportes, a una reunión privada de trabajo con el señor Presidente de la República en Los Pinos.

Ahí pude presentarle al Presidente una propuesta del Programa No. II del documento “Aportaciones al estudio...”, para que por primera vez en México se tuviera un presupuesto dentro del Conacyt para otorgar cien subvenciones específicas de 250 mil pesos cada una a proyectos de investigación, pero con la condición de que con éstos se estableciera una descentralización al buscar la vinculación a través de la colaboración de dos instituciones, una del D.F. con otra del interior del país.

Con el presupuesto aprobado por el Presidente (20 millones de pesos), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología inició un Programa de Descentralización de la Investigación Científica y de la Educación Superior, apoyando numerosos proyectos de investigación científica y aplicada en distintas regiones del país.

Elaboré una circular que firmó el Ing. Méndez-Docurro, para convocar a todas las universidades e institutos de educación superior a participar con proyectos de investigación vinculados a las instituciones del D.F. Se comenzaron a recibir numerosas propuestas que fueron evaluadas por un comité *ad-hoc*, dentro de las cuales hubo dos de Ensenada-UNAM, una de Saltillo-UNAM, varias otras de Monterrey, Tampico-Cinvestav y muchas otras.

Tuve que recorrer varios sitios de la República (Monterrey, N.L.; Saltillo, Coah.; Tampico, Tamps.; Oaxaca, Oax.; Mérida, Yuc.; Villahermosa, Tab.; Veracruz, Ver.; Puebla, Pue.; San Cristóbal de las Casas, Chis.; Ensenada, B. C.; La Paz, B.C.S.; Hermosillo, Son.) promoviendo este programa que me sirvió para darme cuenta de la necesidad no sólo de financiar proyectos aislados sino de dar un paso firme en la idea de la descentralización, puesto que en algunos sitios no existía todavía una universidad,

como era el caso de Chiapas y el Territorio de Baja California Sur (me estoy refiriendo a los años 1971 y 1972).

Fue así como surgió la idea de crear centros de investigación en distintas partes del país, los cuales tendrían su propia personalidad jurídica y presupuesto, una Junta de Gobierno integrada por el Conacyt, la UNAM, el Gobierno del Estado, y según el caso, donde existiese una universidad estatal, se buscaba también su participación en esa Junta, como fue el caso de Ensenada, con la UABC. (En Chiapas y Baja California Sur no había universidad en ese entonces).

Al siguiente año, durante la segunda reunión de la Junta Directiva del Conacyt, que se llevó a cabo en la Residencia de Los Pinos el 21 de febrero de 1972, con la presencia del Señor Presidente de la República, me tocó en turno presentar dentro de los varios asuntos de la agenda de esa reunión (ver foto) los avances del Programa de “Formación de Profesores y apoyo a la investigación”.



**Figura 1.** Aspecto general de la reunión del Conacyt que presidió el Jefe del Ejecutivo y que se efectuó en el salón de festejos de la residencia oficial de los Pinos. Asistieron funcionarios y autoridades en la materia. *El Universal*, 22 de febrero de 1972.



**Figura 2.** El presidente Luis Echeverría presidió ayer la II Reunión de la junta directiva del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, cuya apertura estuvo a cargo del Ingeniero Víctor Bravo Ahuja, a quien vemos a la derecha del Primer Magistrado. El Universal, 22 de febrero de 1972.



**Figura 3.** Ondarza leyendo su informe en la Reunión de la Junta de Gobierno del Conacyt en la Sala “Venustiano Carranza” en los Pinos. Febrero, 1972.

En ese informe di cuenta de los avances en el otorgamiento de subvenciones a proyectos de investigación y a la próxima creación de los Centros de Investigación en Ensenada, La Paz, Saltillo y Chiapas. También se proponía un Centro de Geología en Oaxaca, que desafortunadamente no se llevó a cabo por el cambio de Director del Conacyt en el año siguiente. El Centro de La Paz quedó retrasado por dos años, por la misma razón.

Con el presupuesto de estos programas se inició en diciembre de 1973, mediante Decreto, la fundación del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) en el Estado de Baja California; en 1975, como asociación Civil, el Centro de Investigaciones Biológicas en La Paz, (CIB, ahora Cibernor) Baja California Sur; el 28 de octubre de 1976, mediante Decreto, el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en Saltillo, Coahuila; el 2 de diciembre de 1974, el Centro de Investigaciones Ecológicas, (Cies, ahora Ecosur), y más tarde, en 1979

como Asociación Civil, el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).

Todos estos centros tienen su propia historia y en este documento no voy a tratar en detalle todo lo que se hizo durante esos doce años para llevar a cabo las tareas de creación que me tocó realizar. En particular, en este documento me dedicaré en especial a relatar cómo se gestó la creación del CICY.

La idea de crear este Centro en Mérida, Yucatán, surge a partir de Edmundo Flores, Director General del Conacyt, quien al regresar de un viaje con el Presidente José López-Portillo a Mérida, donde tuvieron una reunión con los Henequeneros, me citó en su oficina y me dijo que en vista de mi experiencia en “hacer centros”, me pedía que trabajase en la creación de un Centro sobre el Henequén.

Me puse a trabajar con mi equipo de colaboradores en ese entonces, Knockenhauer y Vázquez-Ceja en lo referente al Decreto o bases para una Asociación Civil, y con mi ex-alumno Manuel Robert, quien había estudiado en Londres en *Wye College* (al igual que mi otro ex alumno, Alfonso Larqué Saavedra, ex director del CICY), en temas de Biotecnología Vegetal.

Definimos los posibles temas de investigación para este Centro y para los propósitos fundamentalmente del Henequén. Sin embargo, decidí proponerle al Dr. Flores que se llamase Centro de Investigación Científica de Yucatán y no del Henequén, pues con ese nombre lo condenaríamos a un fracaso por la presión a que se sometería buscando la solución inmediata a los problemas de ese cultivo.

Realicé varios viajes a Mérida para entrevistarme con el Gobernador del Estado, Dr. Luna Kan, quien me recibió y aceptó ofrecer todo su apoyo de inmediato, tanto económico como moral, dando las facilidades para alquilar y adecuar un local donde nació el Centro.

Una vez elaborado el documento que serviría para registrar el Centro como Asociación Civil, se localizó un Notario de la Ciudad de Mérida donde procedimos a los trámites.

Después de elaborar el presupuesto del Centro para comenzar el primer año, hubo una reunión de Edmundo Flores con el C. Presidente de México en Los Pinos, donde cuando llegó el momento dentro de la agenda de trabajo, le solicité y propuse al C. Presidente la autorización de 20 millones para el Centro, lo cual fue

aprobado y turnado ahí mismo al Lic. Labastida de la Secretaría de Hacienda para su ejecución.



**Figura 4. Visita del Presidente de México López-Portillo al CICY, Junio 1979.**

De izquierda a derecha: Edmundo Flores, Director del Conacyt; Jefe del Estado Mayor Presidencial; el Presidente de

México; Dr. Ondarza; Luis del Castillo, primer Director del CICY, y Luna Kan, Gobernador de Yucatán.

Con la asistencia del Notario de Mérida, se procedió a la firma de las escrituras el 16 de noviembre del mismo año, 1979, quedando constituido formalmente el Centro de Investigación Científica de Yucatán, como una Asociación Civil entre el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) y el Gobierno del Estado de Yucatán.

El Acta Constitutiva fue firmada por el Presidente de la República como testigo de honor.

Sólo faltaba nombrar un director. Le propuse al Dr. Edmundo Flores, tres eminentes científicos yucatecos, pero ninguno de ellos, por una razón u otra, aceptó el encargo. Finalmente, se propuso a Luis Del Castillo Mora, doctor en física y Coordinador del Área de Fluidos en el Centro de Investigaciones en Materiales de la UNAM, quien trabajaba en la búsqueda de materiales de bajo costo para colectores solares. Luis Del Castillo se había interesado y auspiciado la investigación sobre materiales compuestos que venían desarrollando los ingenieros Pedro Fuentes y Amando Padilla, circunstancia que lo había puesto en contacto con el henequén y con Yucatán. La candidatura de Luis Del Castillo fue satisfactoria y se le dio posesión el 6 de junio de 1980.

## El Inicio

*Luis del Castillo Mora*

El Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) encontró su origen a mediados de 1980 por iniciativa del Conacyt, como parte de los programas de descentralización de la actividad científica y tecnológica, e inicialmente orientados hacia la búsqueda de soluciones tecnológicas a los problemas regionales.

El CICY nació casi simultáneamente con el Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) y el Centro de Matemáticas, en una época de relativa abundancia en la que según algún funcionario público, teníamos que “aprender a administrar la riqueza”. Desafortunadamente, antes de que aprendiéramos a hacerlo se nos presentó una de las peores crisis financieras y de recursos que hemos padecido, de tal manera que si bien, todos los inicios son complicados, éstas y otras circunstancias hicieron que el Centro estuviera a punto de no nacer o desaparecer al poco tiempo, como sucedió con otras entidades similares.

Las dificultades, de hecho, comenzaron incluso antes de que realmente el Centro empezara a funcionar, pues si bien su acta constitutiva tiene como fecha de fundación el 16 de noviembre de 1979, no fue sino hasta julio de 1980 cuando finalmente se nombró al primer director y se iniciaron realmente las acciones para conformar y organizar el CICY.

Otro de los obstáculos más importantes que vivió el CICY en sus orígenes, fue que en realidad se había concebido como una agencia del Conacyt para financiar proyectos relacionados con el henequén, lo cual lo condenaba a jamás poder consolidarse como un verdadero centro de investigación, pues su oficio se reduciría a evaluar ofertas de proyectos y asignarles recursos para su desarrollo. Además, automáticamente lo circunscribía a problemas relacionados con esa fibra dura: el henequén.

Esta situación se pudo solucionar, al llegar a un acuerdo que en el momento permitió conciliar ambos objetivos. El financiamiento de proyectos bajo ciertas condiciones y a mediano plazo

la formación y posteriormente la consolidación de un Centro de Investigación en la ciudad de Mérida.

La estrategia consistió en seleccionar, de la cartera de proyectos que nos proporciono Conacyt, aquellos que por su madurez, infraestructura y planta de investigadores, presentaban las mejores oportunidades de desarrollo. La relación se formalizó mediante convenios en los cuales las instituciones participantes se comprometían a incorporar al proyecto, investigadores, técnicos y becarios financiados por CICY, quienes participarían activamente en este. Adicionalmente, todos los bienes adquiridos para el desarrollo del mismo serían propiedad del CICY pero quedarían en comodato en la institución durante la vigencia del convenio.

Una vez que se acordaron las condiciones mediante las cuales se financiarían los proyectos, únicamente la UNAM, como miembro asociado del CICY, aceptó mantener su oferta. En la consolidación de esta etapa tuvimos el apoyo de: el Centro de Investigación en Materiales, la Facultad de Ciencias Químicas y el Instituto de Investigaciones Biomédicas. De esta manera, se formaron los primeros grupos de investigación que sentaron las bases de las futuras áreas de investigación en el CICY.

En el caso del Centro de Investigación de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se reforzó el grupo de investigación dedicado a estudiar los materiales compuestos utilizando como matriz diversas clases de polímeros y como refuerzo, fibras de henequén. Posteriormente, este grupo se desplazó a Mérida y dio origen al Departamento de Química del CICY.

Con el apoyo de la Facultad de Ciencias Químicas, y en particular con su departamento de Bioquímica, se inició el proyecto de micropropagación de agaves. Los investigadores y técnicos del CICY e inclusive algunos de la propia facultad, posteriormente se trasladaron a Mérida y dieron origen a la Departamento de Biología Vegetal. Este proyecto fue el más emblemático en los orígenes del CICY.

El Instituto de Investigaciones Biomédicas nos apoyó en la formación de un grupo experto en Biotecnología Fermentativa que también a su tiempo se desplazó al CICY en Mérida, pero al no haber madurado convenientemente, en una reorganización del Centro se fusionó con el área de Biología Vegetal.

Mientras esto sucedía en la Ciudad de México con la UNAM, un pequeño grupo de investigadores y técnicos se desplazaron a la Ciu-



dad de Mérida, y ocupando una pequeña casa proporcionada por el gobierno del estado y acondicionada por el Conacyt, iniciaron sus actividades con el fin de organizar un grupo de investigación dedicado a evaluar los recursos naturales de la región. Éste fue el único proyecto que desde el inicio estuvo totalmente integrado al Centro y posteriormente dio origen al departamento de Recursos Naturales.

Un factor adicional muy significativo en este difícil arranque, sucedió sólo tres meses después de haber iniciado actividades, pues con personal académico y administrativo contratado, el Centro se quedó sin recursos y si bien esto afectó todo el subsistema de Centros Conacyt, en el caso del CICY significó poner en duda su supervivencia, sin contar con el impacto en el ánimo del personal que había renunciado a sus empleos por las expectativas que presentaba el futuro del nuevo centro de investigación.

Afortunadamente, esta situación se resolvió relativamente rápido, pues el subsistema de Centros fue sectorizado dentro de la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) denominándose desde entonces y hasta la desaparición de la SPP, Centros SPP – Conacyt.

## **El Desarrollo**

El segundo periodo más importante de la vida del CICY, se dio durante 1982 cuando los grupos que se habían formado y estaban consolidándose en la ciudad de México, se desplazaron a la ciudad de Mérida. Previo a este numeroso desplazamiento, se gestionó la cesión de un terreno, que fue logrado gracias a la intervención del entonces Gobernador del estado de Yucatán, el Dr. Francisco Luna Kan, quien dotó al Centro con cinco hectáreas de un lote ubicado en los terrenos de la antigua Hacienda de Xcumpich, al norte de la Ciudad de Mérida. En este terreno se construyeron en una primera etapa, las oficinas administrativas, el auditorio, la biblioteca, los laboratorios y los cubículos de los Departamentos de Biología Vegetal, Biotecnología, Química y Recursos Naturales, dejando la mayor parte del terreno para la edificación de un jardín botánico regional y un área de viveros.

De esta manera, y ya contando con las instalaciones y la infraestructura apropiada, se fueron incorporando los diferentes integrantes del Centro, con sus respectivos equipos y sus proyectos en pleno desarrollo. Aunque la mayor parte del personal que se había contratado originalmente se desplazó a Mérida, tuvimos

varias deserciones, tanto desde el momento del traslado, como a lo largo de los primeros años. Esto representaba en el corto plazo, una de nuestras principales debilidades y la estrategia que en un momento nos había permitido crecer rápidamente, a tal punto que al segundo año de creación ya podíamos mostrar resultados, se podría revertir y disminuir nuestro ritmo de crecimiento y de consolidación, como de hecho sucedió con algunos grupos de investigación. Nos encontrábamos en una carrera contra el tiempo en la que estábamos obligados a ganar.

Durante este periodo dedicamos una buena parte de nuestros esfuerzos y recursos para establecer un agresivo programa de formación de recursos humanos bajo dos estrategias. La primera, mediante la implementación de estudios a nivel de maestría conjuntamente con instituciones locales de educación superior. En este caso intentamos asociarnos con la Escuela de Química de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Sin embargo, pese a los notables esfuerzos realizados por ambas partes, no se pudo concretar esta iniciativa.

Posteriormente, en 1985 buscamos una alianza con el Instituto Tecnológico de Mérida, con el cual iniciamos el posgrado en Biotecnología con dos opciones: Biotecnología Vegetal y Biotecnología Fermentativa. Esto nos permitió, con bases más sólidas, el ingreso de estudiantes graduados a los proyectos de investigación y la formación de estudiantes a nivel posgrado. Varios egresados de este programa continuaron sus estudios de doctorado y actualmente forman parte del cuerpo académico del Centro.

La segunda estrategia consistió en establecer una bolsa para financiar o completar becas para estudiantes o investigadores en formación. El objetivo era promover la movilidad de profesores y alumnos hacia otros centros de educación, tanto nacional como extranjera, y de esta manera prevenir la endogamia académica derivada del aislamiento geográfico.

Mientras tanto, el Centro seguía creciendo, reorganizándose y fortaleciéndose en un ambiente en el que si bien había un fuerte sesgo hacia la investigación dirigida a la solución tecnológica de problemas regionales o nacionales, existía la suficiente libertad de investigación que se requería para propiciar la innovación científica y tecnológica.



**Figura 1.** Primer cuerpo directivo del CICY. De izquierda a derecha: Drs. Manuel Robert Díaz (Genética y Fisiología), Luis del Castillo Mora (Director General), Carlos Huitrón Vargas (Biotecnología), Roger Orellana Lanza (Estudios Regionales) y Carlos Cruz Ramos (Química Aplicada). Cd. de Mérida, 1981.

### **Departamento de Biología Vegetal**

Este departamento enfocó sus trabajos hacia el estudio de los recursos naturales vegetales y a una utilización más eficiente de los mismos. Los proyectos de investigación, en su mayor parte, fueron dirigidos a la solución de problemas específicos o directamente al desarrollo tecnológico de algún producto o proceso solicitado por el sector productivo. No obstante, en todo momento se procuró que una parte del esfuerzo se dedicara a la generación del conocimiento profundo sobre los procesos celulares que regulan aquellas características o fenómenos de los cuales se pueden derivar aplicaciones. Estos proyectos siempre guardaron una estrecha relación con las investigaciones aplicadas desarrolladas en la misma División, brindándoles un fuerte soporte que permitió la solución de diversos problemas, pero sobre todo, promovió la innovación tecnológica.

El Departamento de Biología Vegetal se organizó de tal manera que el flujo de información y soporte académico, así como las decisiones y políticas, pudieran darse de una manera tan flexible como lo requiere la investigación fundamental, o tan rígida como lo exigen los desarrollos tecnológicos.

Las principales áreas de investigación de esta división fueron las siguientes:

#### MICROPROPAGACIÓN

Esta área se dedicó a la estandarización de métodos de micropropagación para multiplicación masiva y la producción de plantas libres de virus.

#### ESTUDIOS GENÉTICOS

El objetivo de este grupo se enfocó a la verificación de la estabilidad genética de las plantas producidas por distintos métodos de micropropagación y para caracterizar genéticamente las plantas que constituyen un germoplasma importante de las colecciones.

#### ESTUDIOS BÁSICOS SOBRE FISIOLOGÍA Y BIOQUÍMICA

Este grupo tenía a su cargo el estudio del comportamiento de las plantas micro propagadas o cultivadas en condiciones diferentes a las naturales, como son los escenarios de estrés dentro de tubo de ensaye, tales como la presión osmótica del medio y las altas concentraciones de nutrientes y reguladores de crecimiento. Estos factores afectan la capacidad de adaptación y el desarrollo ulterior de las plantas micropropagadas.

#### BIOSÍNTESIS DE ALCALOIDES POR CÉLULAS Y ÓRGANOS CULTIVADOS *in vitro*

Éste fue uno de los proyectos con un enfoque más marcado hacia la investigación básica, pues en ese tiempo, aunque parecía una metodología muy prometedora, todavía se ignoraba mucho acerca de la producción de principios activos a partir de células u órganos cultivados *in vitro*, de tal manera que los resultados alcanzados todavía estaban lejos de poder convertirse en un desarrollo tecnológico escalable a nivel industrial, dados los muy bajos rendimientos y los altos costos de producción. Sin embargo, gracias a un conocimiento más profundo de la fisiología y bioquímica de las células cultivadas *in vitro* y en particular de la regulación de las vías de síntesis de estos compuestos en las plantas, esta situación empezaba a cambiar, abriendo nuevas posibilidades para el aprovechamiento de la gran variedad de plantas de la región.

#### **Departamento de Recursos Naturales**

Para poder llevar a cabo las investigaciones antes mencionadas, se consideró conveniente contar con un grupo de investigadores y técnicos que pudiera proporcionar información botánica y ecológica básica sobre la diversidad genética disponible en la península

de Yucatán y las posibilidades de uso de estos recursos. En su primera etapa, se recopiló la información biológica esencial de las variedades de henequén tanto silvestres como cultivadas. En su segunda fase, se procedió a evaluar estas variedades desde el punto de vista citogenético y en relación a sus características de valor comercial, como son las propiedades físicas y químicas de su fibra y los tipos y cantidades de sapogeninas que contienen. La recolección, clasificación y preservación de estos ejemplares fue el inicio del herbario institucional.

Este mismo grupo tuvo a su cargo la construcción del Jardín Botánico Regional del CICY que se inició en 1983 sobre una superficie de 2.5 hectáreas dentro de los terrenos del propio Centro. Lo constituyen dos áreas, una dedicada a las colecciones, en donde se representa la flora de la península de Yucatán y otra para viveros, que tiene como objetivos la aclimatación, propagación y experimentación de las plantas micropropagadas en los propios laboratorios y de las recolectadas.

Independientemente del apoyo que el Jardín Botánico proporciona a los diferentes proyectos del Centro, es necesario destacar el impacto que tuvo y tiene sobre la comunidad yucateca, y en particular con los habitantes de la ciudad de Mérida, en el aspecto cultural, educativo y de conservación de especies nativas.

### **Departamento de Química**

Esta división se concibió con el propósito de desarrollar tecnologías para la transformación de los recursos naturales, especialmente los renovables, que les permitieran incrementar su valor agregado.

Se organizó en dos departamentos: el de Polímeros y el de Química Orgánica. El primero, originalmente centró su atención en el estudio de la celulosa y sus derivados, y se especializó en la transformación química de polímeros naturales. Por su parte, el grupo de Química Orgánica se dedicó a la transformación de esteroides derivados del jugo de henequén para la obtención de principios biológicamente activos. Ambos departamentos, al igual que la División de Biología Vegetal, dividieron sus esfuerzos entre proyectos francamente de desarrollo tecnológico y aquellos con buenas perspectivas de aplicación, pero todavía con necesidad de generar nuevos conocimientos.

## **Departamento de Polímeros**

Este departamento enfocó sus investigaciones principalmente hacia tres temas: el aislamiento y transformación química de polímeros naturales, los materiales compuestos y el estudio termodinámico de mezclas poliméricas.

Acorde a la misión original del CICY, en el sentido de orientar sus investigaciones al campo de los recursos naturales renovables y en particular hacia el henequén y otras fibras duras, este grupo encaminó sus esfuerzos alrededor de dos de los principales componentes de las fibras duras: la celulosa y derivados, y la lignina y lignoderivados. En el primer caso, se trabajó sobre la obtención de materias primas de alto valor agregado como son los derivados poliméricos de la celulosa, los acetatos de celulosa, la carboximetilcelulosa y nitrocelulosa a partir de los desechos del proceso de desfibrado.

Respecto a la lignina, el objetivo consistía en evaluar la posibilidad de emplearla como materia prima en aplicaciones más sofisticadas, como son los adhesivos o las matrices de liberación controlada. Estos proyectos derivaron en la síntesis de compuestos con alta absorbencia de agua (hidrogeles) que tienen aplicación en la agricultura, especialmente en regiones en donde la productividad de los terrenos laborables es baja por falta de un acondicionamiento. Este fenómeno se presenta en las regiones áridas y semiáridas cuyos suelos tienen poca humedad debido a la escasa precipitación pluvial o a la alta permeabilidad, como es el caso de la mayor parte de los suelos de la península de Yucatán. Para la elaboración de estos productos se utilizó como materia prima el almidón de Yuca, que es un cultivo bien adaptado a las desventajosas condiciones del suelo yucateco y es una planta en general subutilizada.

Por otro lado, la franca depresión del mercado mundial de las fibras duras para usos tradicionales en la cordelería y la enorme dependencia del campo yucateco en ese cultivo, obligaba a la búsqueda de nuevas alternativas para su utilización. Una de las más factibles consistía en la fabricación de materiales compuestos utilizando las fibras duras naturales, y en particular la fibra corta que no puede ser aprovechada en la industria textil, pero sí como refuerzo en matrices poliméricas. Desde el punto de vista mecánico, la incorporación de fibras duras permite la elaboración de productos laminados, principalmente para la construc-

ción, en donde es posible controlar la resistencia del material a los distintos tipos de cargas a las que estará sometido.

### **Departamento de Química Orgánica**

El Departamento de Química Orgánica nació con la finalidad de buscar una alternativa tecnológica para darle valor agregado a uno de los subproductos más abundantes de la industria henequenera. El jugo de las hojas de henequén, derivado del proceso de desfibrado de las pencas, la organización social para el cultivo del henequén y la concentración de las pencas para la extracción automatizada de la fibra, aunado a las características de este proceso de desfibración, permiten obtener grandes cantidades de “jugo” concentrado de henequén rico en saponinas esteroidales, tales como la hecogenina y la tigogenina, materias primas que son muy apreciadas en la industria farmacéutica como precursores de esteroides biológicamente activos. Si bien la existencia de saponinas en las hojas de los diferentes tipos de agraves es algo bien conocido, en el caso de henequén (*Agave fourcroydes*) existía muy poca información, tanto de las cantidades como de los tipos de saponinas que contenía. Una de ellas, la hecogenina, se utiliza industrialmente como materia prima para la elaboración de hormonas corticoides semisintéticas. Por otra parte, había que desarrollar también una tecnología para la separación de las diferentes saponinas.

El proyecto se desarrolló conjuntamente con Cordemex, que en aquella época era la industria estatal para la comercialización de los productos del henequén. La empresa se encargaba de la recolección del jugo, del proceso de fermentación y secado hasta obtener la materia prima que era analizada y caracterizada en sus diferentes tipos y contenidos de saponinas para posteriormente desarrollar diferentes alternativas de separación. El proyecto comprendió desde la escala de laboratorio hasta el escalamiento a planta piloto. Desafortunadamente, con la desaparición de Cordemex se esfumaron las condiciones que le daban la viabilidad económica e industrial al proyecto y la planta piloto fue desmontada.

### **Reflexiones finales**

Si bien, los resultados de las investigaciones desarrolladas en el CICY tuvieron poco impacto en el objetivo principal que se pretendía, que era buscar alternativas al principal cultivo agrícola de

Yucatán, los proyectos desarrollados alrededor del henequén, contribuyeron a focalizar esfuerzos en áreas muy específicas que posteriormente dieron origen a las diferentes líneas de investigación.

En aquella época se consideró que el principal problema estaba ligado a la tecnología. Sin embargo, en realidad la problemática tenía mucho más elementos de carácter social y político, frente a lo cual un centro de investigación científica poco podía hacer.

El proyecto de micropropagación se desarrolló con la intención de poder satisfacer los requerimientos de vástagos de henequén para sembrar siete mil hectáreas por año con una densidad de cinco mil plantas por hectárea para alimentar de fibra a una supuesta fábrica de celulosa, lo que requería de 35 millones de vástagos por año para mantenerla al cien por ciento de su capacidad, mismos que sin tomar muy en cuenta los costos, podrían ser producidos por micropropagación.

De hecho, la tecnología se desarrolló exitosamente; sin embargo, el proyecto de la fábrica de celulosa nunca se llevó a cabo, a pesar de que había sido aprobado al más alto nivel.

El conocimiento y las habilidades, así como los recursos humanos formados durante este tiempo, constituyeron los elementos necesarios para conformar un grupo interdisciplinario de científicos y técnicos que sentaron las bases del Departamento de Biología Vegetal.

Dentro de los desarrollos más importantes logrados por este grupo se encuentran la micropropagación de *Agave tequilana* y el proyecto que considero el más exitoso que desarrolló el Centro en ese tiempo, la micropropagación de *Tagetes erecta*, mejor conocido como cempasúchil, para la industria de los colorantes naturales. En este caso, no solamente se desarrolló la metodología para la micropropagación industrial de la planta, sino que además, el proyecto comprendió la búsqueda y selección de plantas de alta productividad.

Con toda esta experiencia, decidimos construir un laboratorio de micropropagación con el fin de llevar a nivel industrial o semi industrial los desarrollos logrados en los laboratorios de investigación. A este laboratorio se le dotó esencialmente con técnicos especializados, pero sobre todo, con una administración, financiamiento y evaluación propios de un laboratorio de esta naturaleza, cuyo propósito, además de darle a los proyectos una viabilidad técnica y económica, pudiera traer recursos adicionales al Centro.



El proyecto encaminado a la obtención de esteroides a partir del jugo de las pencas de henequén no corrió con mejor suerte, a pesar de que aparentemente se contaba con todos los elementos que garantizaban su éxito. Desde el punto de vista tecnológico, en el momento que se canceló el proyecto por la desaparición de Cordemex, el proceso para la separación de las principales sapogeninas era solamente cuestión de tiempo, que en ese entonces era lo único que no teníamos y así, lo que pudo haber sido la mayor contribución del CICY a la recuperación de la industria henequenera con un producto de alto valor agregado, e inclusive, haber convertido a la fibra en el subproducto, quedó cancelado.

Sin embargo, los grupos de investigación ya estaban sólidamente formados y en plena productividad, el programa de formación de recursos humanos altamente calificados daba ya sus frutos, eliminando así una de nuestras principales debilidades. El Centro contaba con una excelente biblioteca y una infraestructura moderna y suficiente, además, gozaba ya de un reconocimiento nacional e internacional. Es decir, se habían sentado sólidamente las bases para su consolidación con un futuro promisorio para convertirse en un centro de investigación de calidad internacional.

### **Agradecimientos**

En este espacio he tratado de dar una idea muy general de los acontecimientos que dieron origen al CICY y sus primeros años de vida institucional. Seguramente he olvidado o pasado por alto muchos otros eventos importantes o anecdóticos que hubieran hecho más ameno este relato, pero ni contaba con el espacio suficiente ni creo que haya sido la intención de los editores al invitarme a escribir estas páginas. Sin embargo, considero que este relato no estaría completo sin un reconocimiento a todas las personas que de una manera u otra contribuyeron a la realización de este proyecto. En la imposibilidad de nombrar a todos, pido disculpas de antemano por las omisiones que seguramente cometeré.

Al Conacyt que dio origen a la creación de los centros, y en particular al Dr. Raúl Ondaza y al Dr. Edmundo Flores como los principales impulsores de esta idea, que con el tiempo ha mostrado su atinada visión en el desarrollo de Ciencia y la Tecnología en nuestro país. Mi más sincero reconocimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México por su apoyo que fue definitivo para el rápido arranque del CICY. Al Dr. Don Francisco Luna Kan, el enton-

ces Gobernador del estado de Yucatán, por su amistad y múltiples apoyos durante todo su mandato. A todos los que tomaron el reto y en cierta manera el riesgo para formar este Centro, sobre todo tomando en cuenta su complicado inicio. En particular, al Lic. Hernán Giustinianovic, quien tuvo a su cargo la parte administrativa, y en la parte académica, al Dr. Manuel Robert, al Dr. Carlos Cruz y al Maestro (hoy doctor) Roger Orellana, quienes tuvieron a su cargo los primeros grupos de investigación. Al Dr. Jorge Reyes por su participación en el proyecto de esteroides. Al Ing. Pedro Fuentes quien me inicio en el conocimiento y uso de las fibras duras y al Dr. Mario Donde quien me brindo su experiencia y apoyo como secretario académico.

Un especial reconocimiento a la Dra. Dorotea Barnes, al Dr. Manuel Ulloa y al Lic. José Hinojosa, todos ellos funcionarios de la Secretaría de Programación y Presupuesto que en momentos difíciles reconocieron e hicieron propia la causa de los Centros Conacyt y los rescataron poniendo además, por primera vez en la historia de la Planeación Nacional, el desarrollo científico y tecnológico como prioridad nacional. A la Universidad Autónoma de Yucatán y en particular al maestro Javier Aranda. Al Instituto Tecnológico de Mérida, y particularmente, al Ing. José Canto Quintal por su incondicional apoyo en la organización del posgrado en Biotecnología. Al Ing. Ignacio Lazcano, gerente general del Banco de Crédito Rural Peninsular. A los Ingenieros Juan Duch y Hernán Cruz, director y coordinador del proyecto de esteroides en Cordemex. A la industria Bioquimex y a Industrias Cuervo y Tequila Herradura, por su apoyo para el desarrollo del proyecto de micropropagación hasta su etapa final en los campos de sus compañías en el estado de Jalisco.



## **PRIMERA PARTE**



### **Sección II: Las primeras investigaciones: el henequén**



## Estudios Ecológicos y Regionales

*Roger Orellana Lanza*

En junio de 1980 yo trabajaba como ayudante de investigador de medio tiempo en el Instituto de Geografía de la UNAM. Una de las investigadoras, colega de ahí y amiga, Ana García Silberman, y su esposo, Pedro Fuentes Riquelme hablaron conmigo en una ocasión invitándome, en caso que me interesara, a formar parte de un nuevo centro de investigación de Conacyt que se establecería en Mérida, Yucatán. Eso me llamó mucho la atención, pues uno de mis anhelos había sido desde un tiempo, el poder trabajar en el “área Maya”. Tendría que hablar con el director, nombrado recientemente, para lo que Pedro Fuentes me haría una cita, ya que eran colegas en el Instituto de Materiales de la UNAM. Fui a entrevistarme con el Dr. Luis del Castillo, el director de ese Centro aún virtual. Él me trató de una forma muy cálida y ofreció todo el apoyo para que yo ingresara y desarrollara líneas de investigación en botánica y ecología. Además, mencionó que a través de la bolsa de trabajo de Conacyt había localizado a una bióloga, Bárbara Torres, que por cierto, era mi amiga y quien tal vez estaría también interesada en participar en las investigaciones del naciente centro.

Me pidió nombres de otros posibles candidatos a que trabajaran como investigadores y yo le sugerí que contactara a Lourdes Villers, gran compañera bióloga, quien conocía bien la península de Yucatán y que había trabajado durante la realización de su tesis en Cobá, Quintana Roo. Su director de tesis había sido el Dr. Alfredo Barrera, a quien yo también conocía y quien en ese entonces era director de la Unidad península de Yucatán del hoy extinto Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (Inireb) y se encontraba muy enfermo. Finalmente, Luis del Castillo hizo que nos reuniéramos Bárbara, Lourdes y yo, y así iniciáramos la elaboración de un plan a largo plazo sobre un futuro Departamento de Ecología del CICY. En éste, la temática principal sería conjugar una serie de proyectos en cartera relacionados con la ecología y sistemática del henequén y temas afines. De éstos, había que atender directamente la propuesta de contar en este futuro Depar-

tamento, con estudios de suelos de acuerdo con un megaproyecto propuesto por el M. en C. Mariano Villegas Soto y la Lic. en Geografía Mireya Maples, ambos del laboratorio de Edafología del Instituto de Geografía de la UNAM. En caso que nosotros fuésemos contratados y que nuestro plan fuera aceptado, tendríamos además que buscar, en todo caso, a nuestro futuro jefe, ya que ninguno de los tres contábamos con doctorado y experiencia, lo que sería necesario para definir bien los rumbos del Departamento. Mientras estábamos en la concepción del nuevo Departamento de Ecología y con todo el entusiasmo del mundo, trabajábamos en las modestas oficinas del CICY localizadas en Miguel Ángel de Quevedo y Av. Pacífico, Coyoacán, en la ciudad de México. Para mí esos días fueron aciagos, ya que además estaba preparando mi examen de maestría, pues yo mismo me había puesto como meta el ingresar al CICY con un posgrado. Finalmente me recibí el 14 de octubre de 1980.

Ya iniciando la elaboración del proyecto, Luis del Castillo nos dijo que era conveniente que armáramos un plan grande de marcha del Departamento, ya que en ese momento se contaba en Conacyt con financiación del Banco Interamericano de Desarrollo. Con eso planeamos más que un proyecto, un programa de investigación a largo plazo del Departamento en el que:

1. Realizaríamos estudios sobre recursos naturales de la península de Yucatán;
2. formaríamos dos colecciones grandes de referencia de nuestros futuros estudios: a) un herbario que contuviera la representación de la flora de la península, en particular de los agaves, incluyendo una modalidad de colección: la “fibroteca”, a sugerencia del Ing. Pedro Fuentes; b) emprenderíamos la construcción de un jardín botánico que representara la flora regional.

Entre la cartera de proyectos estaba estudiar la historia ecológica de los agaves de la Península, así como de los recursos naturales, florísticos y faunísticos. Asimismo, había estudios de climas y suelos. ¿Qué buscábamos? Un diagnóstico sobre la situación ambiental en relación al manejo de los recursos naturales. Lo anterior fue fuente de inspiración de la monumental obra coordinada por Enrique Beltrán, *Los Recursos Naturales del Sureste y su Aprovechamiento*”.

De manera simultánea, Ana García estaba tejiendo la estructura del Departamento de Estudios Regionales y teníamos una permanente interacción, pensando en puntos de convergencia y en anhelos comunes que tuvieran que ver con el desarrollo regional de Yucatán. Ella invitó a varios colegas conocidos a participar como futuros académicos del Departamento de Regionalización. Era esencial en este punto, que tanto el grupo de Ecología como el de Regionalización trabajaríamos en temas transversales, idea que tal vez resultaba muy aventurada para aquel entonces y que en la actualidad es muy común de realización. Finalmente, Ana García y nosotros, al igual que los jefes de los otros nacientes Departamentos, entregamos nuestras propuestas al BID, de las que hubo un buen apoyo económico para poder iniciar nuestro trabajo. Un tema que para nosotros fue maravilloso es que había mucho recurso económico para la compra de libros. Así, fuimos a varias bibliotecas y compramos una cantidad importante de libros y suscripciones de algunas revistas. En ese entonces, diciembre de 1980, se celebró una cena prenavideña en la que no éramos más de una docena de empleados y futuros empleados del CICY. Haciendo un balance tras seis meses de trabajo no remunerado y voluntario, quedó que a finales de 1980 el Departamento de Ecología: 1) estaría trabajando en líneas transversales con el Departamento de Regionalización; 2) no teníamos jefe con doctorado, por lo que yo ocuparía ese cargo temporalmente (que duró seis años); 3) solamente nos comprometeríamos a entrar como investigadores Lourdes Villers y yo; Bárbara Torres no aceptó; 4) tendríamos que reclutar pronto a biólogos recién egresados para ocupar plazas de técnicos académicos; 5) la presentación “en sociedad” del CICY sería un simposio sobre el henequén que se llevaría a cabo a finales del siguiente año (1981), sería menester que nosotros ayudáramos en la organización; 6) contábamos con un buen apoyo bibliográfico para iniciar nuestras futuras líneas de investigación; 7) ya entregado el proyecto al BID, estaríamos en espera del recurso económico para la compra de material de laboratorio, campo y oficina.

A inicios de 1981 realicé mi primer desplazamiento a Mérida, Yucatán. Ahí fui recibido por el Lic. Hernán Giustinianovic, que era el director administrativo, y su esposa, la bibliotecaria María Luisa Borges. Ellos me recibieron muy afectuosamente. La misión que llevaba yo en ese viaje era la siguiente: 1) buscar posibles participantes en el simposio del henequén que se llevaría a cabo en noviembre de ese año; 2) realizar un estudio de mercado sobre la conveniencia de establecer una laboratorio de agrología (suelos)

para la región; 3) comenzar a familiarizarnos sobre el henequén y las otras especies posibles de agaves de la región; 4) visitar “planteles” (plantaciones) de henequén, desfibradoras de Cordemex, del Banco de México, de los hacendados, que recibía el paradójico apelativos de “pequeños propietarios”, así como la cordelería de Cordemex. Sobre el origen del henequén (*Agave fourcroydes*), sus relaciones con el sisal (*Agave sisalana*) y las especies silvestres, es importante mencionar que en aquel entonces había una gran confusión sobre las entidades taxonómicas, al menos de los agaves peninsulares, por lo que tendríamos la tarea de desarrollar ese tema y verlo en relación con factores ambientales y el manejo. En esa estancia debía reclutar candidatos para el simposio de noviembre. Salí al campo a hacer colectas y observaciones. Durante esa primera estancia en Mérida realicé salidas de campo para conocer ese paisaje, inundado de la alfombra verde del *sak ki* y *ya ax ki*, las dos variedades en uso del henequén, de las que realicé algunas colectas: plantaciones infinitas de *Agave fourcroydes* o henequén. Indudablemente ése era el recurso de Yucatán.

A instancias del Lic. Giustinianovic, también me entrevisté con la Dra. Piedad Peniche, etnóloga yucateca, quien recientemente volvía de su doctorado realizado en París, Francia, trabajaba en la Universidad de Campeche y deseaba entrar de investigadora al CICY. La propuesta de ella era realizar un estudio sobre la evolución del ejido henequenero en relación con la crisis de la hacienda henequenera. Yo le indiqué que ese tema era más bien de Regionalización, pero que sin embargo hablaría con Luis Del Castillo para negociar su entrada al CICY como investigadora. Para ese entonces contratamos en la ciudad de México a Verónica Franco como técnica académica. Verónica había sido mi alumna en la UAM hacía unos años y mantenía contacto con ella de vez en cuando. Asimismo, contacté para que fuera becaria a Lina Ojeda, otra ex alumna; finalmente en esa fase se contrató a Lourdes Villers, ya como maestra en ciencias e investigadora. De forma muy forzada se contrató a Piedad Peniche, estando convencido el director que más bien debería formar parte del equipo de Regionalización. Debido a que en realidad la formación de los Departamentos estaba muy en ciernes, se procuraba una estrecha colaboración entre los mismos, de forma que se apoyaba en varios aspectos a los Departamentos de Regionalización, de Genética y Fisiología, aunque menos a Biotecnología y Química Aplicada. También de forma simultánea, se configuraba el Departamento de Regionalización, a la cabeza de Ana García, el



cual en muy poco tiempo de existencia hizo mucho por las bases fundamentales del CICY y publicó varios libros.

A finales de 1981 se llevó a cabo el Primer Simposio de Biología y Aprovechamiento Integral del Henequén y Otros Agaves, en el hotel Holiday Inn de Mérida, el cual fue una convocatoria a nivel regional, nacional e internacional para conocer el “estado del arte” de las investigaciones sobre los agaves. En cuanto a las líneas y personajes que me tocó invitar y coordinar estaban Alejandra García del CIIR-UDY (hoy UADY), Piedad Peniche, José Luis Ramírez Choza del CIAPY Mocochoá, Alejandro Blanco, Jorge Reyes, Parker Nobel, Howard S. Gentry y otros. De todos, quien verdaderamente tuve una intensa interacción y en poco tiempo me dio buenas enseñanzas era el Dr. H. S. Gentry, gran experto taxónomo de agaves. Al poco tiempo del simposio salió a la luz su libro de los agaves de Norteamérica, donde se aclaró por fin la taxonomía de este complejo género.

El simposio del henequén fue un verdadero hito y una carta de presentación muy importante del CICY al estado y a la ciencia en México. La audiencia fue muy nutrida, y en tres a cuatro días hubo una muy intensa interacción entre académicos del CICY y externos. A partir de entonces ya se pudo considerar al CICY en marcha. Prácticamente todos presentamos trabajos en el simposio y para nosotros fue un verdadero reto tener la habilidad de redactar un trabajo a menos de un año de haber iniciado la investigación sobre los agaves. El trabajo se tituló “Algunos aspectos ecológicos de los agaves de la península de Yucatán”. En éste intentamos plasmar cuál era el estado del arte del conocimiento de los agaves peninsulares a nivel taxonómico, ecológico y de manejo y usos. Este trabajo, posteriormente, sería retomado por Patricia Colunga, quien corroboró la hipótesis que propusimos que existían diversos ecotipos de acuerdo con la vegetación en que crecían los agaves. Además, esto lo enriquecimos antes y después del simposio con salidas de campo, muchos testimonios fotográficos, así como colectas vivas y de herbario.

Desde 1982 se contrató a un ex colega del Instituto de Geografía de la UNAM, el economista Rubén López Huebe, posteriormente a Rocío Castrezana, Manuel Beltrán, Eva Saavedra y Alejandra de Sicilia. Al año siguiente contrataron a la socióloga Liliane Hasson. Ya con todo este personal, se comenzó a configurar las líneas de investigación en estudios regionales, mismos que se concretaron en las primeras publicaciones del CICY (las cuales definie-

ron la situación económica en el estado, anticipándose a la crisis del henequén), el *Estudio del Mercado Mundial de las Fibras Duras*, el *Manual de la Zona Henequenera* y el *Estudio Poblacional de Yucatán*, sobre todo de la zona henequenera en colaboración con el Conapo y el Colegio de México. Es importante señalar que el grupo de Regionalización tuvo muy buen impacto en la zona. Sin embargo, el director del CICY nunca llegó al convencimiento de su presencia y el apoyo por su parte no fue tan claro. Ante la incertidumbre, el equipo se fue desmembrando paulatinamente, comenzando por la renuncia de la propia Dra. Ana García, quien volvió a su puesto de investigadora en la UNAM. En la última fase en 1983, se contrató al sociólogo Jorge Bolio, quien finalmente se quedó solo con la colaboración de José Luis Ochoa y que finalizó su trabajo en 1994, realizando estudios de mercado. ¿Qué logros y realizaciones se tuvieron por parte del Departamento de Regionalización?

Este Departamento inicialmente se dedicaría a hacer investigación geográfica y socioeconómica para entender los cambios en las definiciones de las regiones económicas del estado, y en general de la Península, ante una realidad: comenzaba el decaimiento de la actividad henequenera en el estado, aunque se podía interpretar que la industria cordelera estaba en su cúspide. La producción henequenera soportaba el ejido, el banco, y sobre todo, Cordemex, con los altísimos sueldos de sus principales funcionarios, por otro lado, las presiones internacionales de los cada vez más bajos precios del sisal en el mercado internacional y la cada vez más alta producción de cordelería y jarcias de plástico derivado del petróleo. Aquí, la principal aportación que podría tener el Departamento de Regionalización era ayudar a contestar las preguntas: ¿Qué tendencias de desarrollo se presentarían en Yucatán? ¿Cuáles posibles alternativas podrían existir? Ellos permanecieron casi dos años en la Ciudad de México con visitas esporádicas a Yucatán, y mientras tanto, nosotros ya estábamos radicando en Mérida; éramos casi los únicos y solamente había algunos miembros de Biotecnología.

Los de Ecología, mientras tanto, intentábamos crecer como grupo, para lo que se contrató a Lina Ojeda y posteriormente a Enrique Estrada, quien tenía dos orientaciones: en ecología y en taxonomía vegetal. Yo, por mi parte, aunque había sido nombrado jefe de Departamento, seguía buscando a mi propio jefe, para lo cual se invitaron a varias personas, entre éstas, el M.C. Edwino Josafat, la Dra. Socorro Lozano y a la propia Dra. Piedad Peniche.

Ninguno aceptó y la coordinación de Ecología, y en una fase Ecología y Regionalización, la llevé hasta finales de 1986.

Para esas fechas, yo ya me había desplazado a vivir en la ciudad de Mérida. Aún realizaba mis labores en la casa grande de la calle 66 X 59 y 61 del Centro dada en comodato al CICY y donde ya se habían instalado oficinas, un laboratorio del Departamento de Biotecnología y la biblioteca. Fue hasta mayo cuando Verónica Franco junto con Jorge Padilla, de Genética, se desplazaron a Mérida y nos alquilaron otra casa-oficina en la misma calle, pero un edificio mucho más modesto e incómodo. Inicialmente comenzamos a trabajar sin muebles, pero oportunamente nos enviaron los primeros escritorios y sillas y unas gavetas de herbario, con lo que se dio inicio al herbario CICY, que a la fecha alberga la colección más grande de ejemplares de plantas de la península de Yucatán. Asimismo, comenzamos la colección viva de agaves y otras especies, las que cultivábamos en macetas.

A finales del año e inicios de 1982, ya contábamos con la donación del terreno del CICY por parte del gobernador, el Dr. Francisco Luna Kan. Mientras tanto, el arquitecto Víctor Hugo Reinoso sería el encargado de diseñar las futuras instalaciones del Centro. Una vez diseñado, nos percatamos que había disponible cerca de tres hectáreas. Se las solicitamos al director general con la finalidad que en el futuro ahí estableciéramos el jardín botánico. De esta manera, fui de los primeros en visitar el área. Éste era un terreno afuera de la ciudad, en el Norte, y tenía como puntos de referencia el que había sido un antiguo plantel de henequén, que había sido cedido por el ejido de Chuburná y cercano a la ex hacienda Xcumpich. Para llegar había que recorrer un camino muy malo; rodeando el terreno había algunos planteles de henequén, muy pocas casas y ninguna calle. El establecimiento del jardín botánico fue muy importante para darle orientación a las investigaciones que realizáramos en el Departamento de Ecología. La construcción de la edificación del CICY fue muy rápida, y para la segunda mitad de 1982, nos desplazamos a Xcumpich. Una vez que nos mudamos, iniciamos en marzo de 1983 las primeras labores para el establecimiento del jardín botánico regional, que junto con el herbario, fueron en aquel tiempo la columna vertebral del Departamento de Ecología.

Ya para entonces, en el Departamento de Regionalización, las cosas se tornaban difíciles debido a una serie de sucesos: Ana García le dejó el mando a Rubén López Huebe, quien se mostró

muy inestable en el trato personal con sus colaboradores. De hecho, cuando el grupo de Regionalización se desplazó a Mérida, la Dra. Peniche pasaría a formar parte de ese grupo. Sin embargo, nunca tuvo un buen entendimiento con Ana García ni con Rubén López y no se le renovó su contrato, con lo que se cerraron las oportunidades de realizar los posibles estudios antropológicos en el CICY. El director general había determinado que, en realidad, el grupo de Regionalización no debía tener líneas de investigación propias, sino que era un grupo de “apoyo”. El destino de estos académicos se tornaba cada vez más incierto, ya que estarían sujetos a inquietudes de los investigadores de otros Departamentos en cuanto a que les solicitarían, más bien, estudios de factibilidad o de mercado sobre algún recurso natural o algún tema. De hecho nosotros, los de Ecología, en ese entonces también comenzamos a realizar con ellos ese tipo de trabajos. En retrospectiva, se puede ver que para el grupo de Estudios Regionales no se presentaba ninguna perspectiva viable a largo plazo, razón por la que los que quedaban entraron en el desánimo y abandonaron sus plazas de investigadores y técnicos académicos. Así, Jorge Bolio quedó como único investigador, y a la larga, renunció al CICY, ya que tuvo la excelente oportunidad de ser director del Centro Regional del INAH en Mérida. El cuestionamiento de las líneas de investigación hacia el grupo de Ecología también se dejó sentir por parte del director general y de los jefes de los otros Departamentos: para algunos, nosotros más bien debíamos trabajar en el tema del henequén en la relación planta-planta, planta-suelo, y no tanto planta-hombre. En ese entonces, en la línea de ecogeografía, Lourdes Villers estaba realizando su tesis de doctorado en la Universidad de París. Aunque ella se desplazó a vivir en Francia, cada año venía a realizar un detallado trabajo de campo en la zona henequenera sobre las potencialidades de diversificación que ésta podía ofrecer ante la declinación del cultivo del henequén, y por ende, de la industria henequenera. Mientras sobrevivíamos ante la crisis y cuestionamientos de nuestro quehacer y nuestra inexperiencia, comenzamos a recibir tesistas de agronomía procedentes del ITA # 2. Con ellos canalizamos las posibles líneas que aún perduran: recursos vegetales regionales con potencial económico, así como los nacientes modelos de conservación, manejo y uso que se convertirían en el futuro en las líneas de sustentabilidad, concepto que a la fecha se utiliza.

En 1985 se suscitaron cuatro hechos que fueron muy importantes para el desarrollo futuro del Departamento de Ecología.

A finales de 1984 recibí la convocatoria sobre un curso muy bueno, convocado por la OTS (Organización para Estudios Tropicales), que se impartiría por cerca de dos meses en Costa Rica. Debido a que llevaba años de no tomar cursos, envié mi solicitud y fui aceptado, incluyendo beca completa de manutención y colegiatura. Tuve el beneplácito de mis colaboradores, así como del director general. Este curso sería del 15 de enero al 1 de marzo de 1985. Con mil peripecias pude ir a ese maravilloso curso que me cambió mi visión académica para toda la vida. A mi regreso tenía claras dos cosas: que el Departamento debía reestructurarse y que era menester que yo me fuera a hacer un doctorado lo más pronto posible.

Lo inmediato que realicé fue contratar a algún investigador que se asociara a los proyectos. Por aquel entonces, Patricia Colunga acababa de concluir su tesis de maestría del Colegio de Posgraduados y Daniel Zizumbo aún no la terminaba. Ella me expresó su interés en entrar al CICY y acordamos que sería importante que ella retomara algunos aspectos del proyecto de Agaves y los realizara. Casi de forma simultánea a su entrada al CICY, abandonaron el Centro Lina Ojeda y Verónica Franco para realizar su maestría en la Facultad de Ciencias de la UNAM, aunque el director no las apoyaba firmemente. En ese tiempo, Conacyt formó una comisión evaluadora externa y recategorizaron al personal del CICY, y al menos Enrique, Lina y Verónica habían quedado como investigadores asociados A, y yo, como asociado C, y ni por esa razón se quedaron en el CICY las compañeras. Quedaríamos solamente Enrique Estrada y yo, además de Patricia Colunga recién contratada. Ante la falta de refuerzos en ese aspecto, y teniendo los compromisos de herbario y jardín botánico, era necesario contratar a alguien que sustituyera a Lina y Verónica. Así, localicé a Tomás González, quien en ese entonces trabajaba como becario en Yaaxcabá con el Ing. Efraín Hernández X. y a quien le ofrecí la plaza. Él aceptó e ingresó de inmediato y comenzó a trabajar arduamente en el jardín botánico. En Conacyt hubo una reunión que se suscitó a la vez que la junta de la Asamblea General del CICY (la máxima autoridad), en la que se definieron varios aspectos: 1) que los Departamentos académicos quedarían en la categoría de Divisiones; 2) que para ser director de División era necesario tener doctorado; 3) que el Departamento de Ecología se cambiaba al nombre de Recursos Naturales y quedaría dentro de la División de Biología Vegetal. Con esto, Manuel Robert quedaría como nuestro director y yo, únicamente como jefe de grupo y sin

tener acceso ya a Consejo Interno, por ende, sin poder tomar decisiones sobre el futuro de nuestro grupo ahora tan reducido. En ese entonces, estaba yo tramitando mi doctorado al extranjero y había conseguido sin beca a *Penn. State University*, al ITC de Holanda y a varias universidades de España. Fui aceptado en definitiva en la Universidad de Sevilla, a lo cual el director del CICY se oponía, pero conté con el apoyo de Conacyt, de los evaluadores asignados, así como de Manuel Robert. Cuando dejé el CICY el día 30 de septiembre de 1986 para ir a mi doctorado, sentí que se cerraba un ciclo en el que los miembros de los Departamentos de Ecología y Regionalización sentamos las bases para que se tratara de relacionar la investigación básica con la realidad regional, como fueron la serie de estudios realizados y la presencia de dos colecciones: el jardín botánico y el herbario. Tratar de establecer estudios relacionados con la sociedad regional fue una lucha en la que hemos permanecido a la fecha, pero sobre todo era muy importante al inicio del CICY, ya que la mayoría del personal no era nativo del estado o la región.

¿Cuál fue el destino del Departamento de Recursos Naturales?

Después que partí a mi doctorado, por un tiempo quedó indefinido el destino de los miembros del Departamento de Recursos Naturales, que a la sazón eran tres: Patricia Colunga, Enrique Estrada y Tomás González. A ella, eventualmente la nombraron jefa del Departamento; Enrique Estrada quedó colaborando con ella, y pronto, Tomás González cambió su adscripción con Manuel Robert. El empeño de Patricia y Enrique propició que el Departamento creciera, y en 1990, ya trabajaban en el Departamento Goretí Campos, Rafael Gutiérrez, Sigfredo Escalante, Nancy Ayora, Filogonio May, Paulino Simá y Daniel Zizumbo. En 1990 me reincorporé, y al poco tiempo, ingresaron Rafael Durán e Ingrid Olmssted. A partir de entonces, con el crecimiento de personal académico en el Departamento —y también con la participación en todo ese tiempo de las secretarías del área: Lucía Palomo, Yolanda Patrón, Landy Rodríguez y Cherrite González, a quienes se les agradece su labor— se comenzó a gestar lo que finalmente sería la Unidad de Recursos Naturales.

# El cultivo *in vitro* para el mejoramiento de la productividad de las plantaciones de henequén: uno de los primeros objetivos del CICY

*Manuel Robert*



## **Introducción**

En 1979 fui invitado a visitar Yucatán y asesorar sobre la creación de un centro de investigación sobre el henequén en la ciudad de Mérida y posteriormente participé en algunas reuniones de planeación en el Conacyt. Ese primer viaje a Yucatán me convenció de la necesidad de mejorar genéticamente al henequén y de que un enfoque biotecnológico podría beneficiar grandemente a este cultivo, por lo que mi recomendación fue que el centro realizara investigaciones sobre la biología y productividad de esta planta y fue así que, sin darme cuenta, ligué mi vida profesional al cultivo del henequén. Fue durante una visita al entonces CIAPY en Mocochoá que me obsequiaron algunos hijuelos que llevé a mi laboratorio en el Departamento de Bioquímica en la Facultad de Química de la UNAM. Los hijuelos se sembraron en macetas y algunos explantes se establecieron *in vitro*, pero ambos quedaron prácticamente olvidados durante algunos meses hasta que un buen día recibí una llamada de un tal Dr. Luis del Castillo, quien acababa de ser nombrado Director General del Centro de Investigación Científica de Yucatán. Luis solicitaba mi apoyo para evaluar algunos de los proyectos de investigación sobre el henequén que le habían sido sometidos al CICY para su financiamiento<sup>1</sup>. Nos hicimos amigos de inmediato y empezamos a inter-

---

<sup>1</sup> En una primera instancia se manejó la idea de que el CICY financiara proyectos de investigación realizados en otras instituciones, idea que afortunadamente fue abandonada por la de que el CICY empezara a for-

cambiar ideas sobre el CICY, y en una visita a mi laboratorio, Luis vio las plantitas de agave, que ya entonces habían recibido las bendiciones de un poco de agua, y se sorprendió de que, siendo yo una de las pocas personas en México que “trabajaba” con henequén, no hubiera solicitado apoyo del CICY para desarrollar métodos para el cultivo *in vitro* que, en ese momento, se limitaban a unos cuantos explantes de hoja, algunos de los cuales habían empezado a producir unos callos bastante feos.

### Mejoramiento genético

El problema de cómo mejorar genéticamente una especie pentaploide que sólo se propaga vegetativamente y sólo florea una vez al final de su ciclo de vida de cerca de veinte años parecía insuperable, a menos de que fuera por métodos biotecnológicos que permitirían acortar grandemente los tiempos de generación de nuevas líneas o variedades.

Aún hoy en día, el único agave mejorado por medio de entrecruzamiento controlado que ha sido explotado comercialmente es el llamado híbrido H11648 desarrollado por George Lock y sus colaboradores en Mlingano, Tanzania, durante la primera mitad del siglo pasado. Este híbrido sustituyó a *Agave sisalana*, que hasta entonces era la especie predominante en las plantaciones africanas. Lock, sin embargo, tardó más de veinte años en generar la familia de híbridos de la cruce entre *A. angustifolia* y *A. americana*, ambos diploides y con un ciclo de vida de sólo ocho años, menos de la mitad que el henequén.

La propuesta inicial fue, por lo tanto, desarrollar sistemas para cultivar *in vitro* células y tejidos de henequén que permitieran generar variabilidad por medio de mutagénesis, transformación genética o, lo que yo veía en aquel entonces como la mejor estrategia de mejoramiento: la fusión de protoplastos<sup>2</sup>. Un análisis de la situación prevaleciente en las plantaciones reveló la posibili-

---

mar sus propios grupos, aunque éstos trabajaran inicialmente en laboratorios de otras instituciones en México.

<sup>2</sup> Al igual que la mayoría de los recién doctorados en el extranjero que regresan al país, traía yo improntadas las ideas y tendencias de algunos de mis maestros, en este caso, del Profesor Edward Cocking de la Universidad de Nottingham en Inglaterra, quien desarrolló las técnicas de cultivo y fusión de protoplastos y promovió una de las ideas más fascinantes en ese tiempo: la creación de híbridos somáticos de plantas.



dad más directa, rápida y económica de seleccionar y clonar individuos con características notables. Esta idea fue fuertemente apoyada por el Dr. Jacques Boulanger, del Instituto de investigaciones sobre el algodón y textiles exóticos del CIRAD en Montpellier, Francia, quien vino a México como0 experto de la FAO para hacer recomendaciones sobre las líneas de investigación que deberían implementarse en el CICY.

Algunos detalles de esta historia están relatados en otros capítulos de este libro y en Cruz y colaboradores (1985) y Robert, M. L. (1998). El libro titulado *La Problemática del henequén y otros agaves*, aunque publicado cinco años después, fue el producto de una reunión internacional para analizar el estado del arte que prevalecía en la investigación sobre el henequén en 1980, en la que participaron los investigadores más destacados en el campo a nivel mundial. Este libro refleja también los inicios y tendencias de la investigación sobre el henequén que empezaban a desarrollarse en el CICY.

### **El Departamento de Genética y Fisiología**

Luis me invitó a formar un grupo que, eventualmente, se convirtió en el Departamento de Genética y Fisiología. Por un acuerdo con el Dr. Javier Padilla, Director General de la Facultad de Química, y la Dra. Estela Sánchez de Jiménez, del Departamento de Bioquímica, el grupo inició su desarrollo en mi laboratorio en espera de poder trasladarse a Mérida cuando hubiera instalaciones adecuadas para acogerlo.

En sus principios, el CICY tuvo suficiente apoyo económico (esto no duraría mucho) y de la noche a la mañana pasé de la indigencia a la opulencia: equipos, reactivos y accesorios empezaron a llenar el laboratorio y se contrató a los primeros técnicos (Jorge Padilla, María Eugenia Díaz, José Luis Sánchez y Agustín García) para iniciar los trabajos sobre el cultivo *in vitro*. En 1982 el grupo se trasladó a Mérida y se instaló en el área que hoy ocupa GeMBio.

Los dos primeros investigadores del grupo fueron el Dr. Isidro Castorena, citogenetista de la UNAM, y el Dr. Keith Scorer, bioquímico inglés. Isidro, con la colaboración de Rosa María Escobedo y Adriana Quiroz, estudió los niveles de ploidía y caracterizó los cariotipos de varios agaves, y Keith empezó a trabajar con henequén y de inmediato se hizo de cinco “chinos” a los que enseñaba a trabajar al estilo británico del Siglo XIX, con una regla en

la mano. Todos ellos se convirtieron en piezas importantes dentro de la institución: José Luis Herrera, Francisco Espadas, Fernando Contreras, Carlos Talavera y José Luis Chan, estudiantes del ITA de Conkal, formaron el grupo que realizó el trabajo sólido y exhaustivo sobre clonación del henequén.

Tras sus tesis de licenciatura, todos ellos obtuvieron sus maestrías y eventualmente se fueron incorporando a otras aéreas, con excepción de José Luis Herrera, quien se convirtió en el alma del

proyecto y en el experto en cultivo *in vitro* de agaves. Luego se unieron al grupo en diferentes etapas: Ileana Borges, Andrés Quijano y Javier Mijangos.



**Figura 1. Cultivo *in vitro*:** a) iniciación de brotes a partir de explantes; b y c) multiplicación y vista general del cuarto de cultivo; d) fase de crecimiento previa al transplante a tierra.

### Las plantaciones

Las primeras plantas que llegaron al campo lo hicieron a través de una colaboración con La Unión de Crédito Agrícola y Ganadero de Yucatán, cuyo presidente, Don Ernesto Molina, promovió la siembra de materiales micropropagados entre los miembros de la Unión. Desde luego que no se pretendía plantar miles de hectáreas con materiales producidos en el laboratorio, por lo que el primer paso fue la siembra de viveros con material parental clonal, del cual se derivarían hijuelos para plantación. Lo que no anticipamos fue que las plantas clonales seleccionadas y vigorizadas, muy probablemente por el cultivo *in vitro*, iban a producir una cantidad tan grande de hijuelos, lo que propició una venta de

plantas clonales fuera de nuestro control y el desinterés del productor por sembrar más viveros con clonas; ya tenía suficientes.

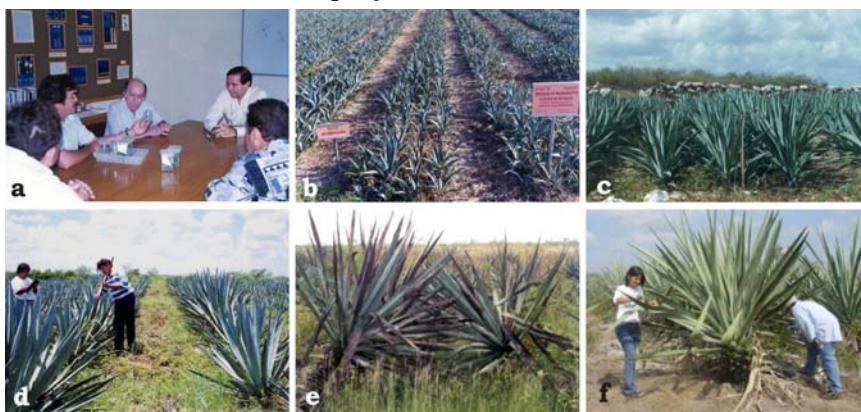
Las primeras plantaciones se sembraron en 1994. El considerablemente menor tamaño de las plantas micropropagadas, comparado con el de los hijuelos tradicionales, provocó algunas sonrisas y hubo quien auguró que todas morirían en una semana. Los resultados mostraron una situación muy distinta: las plantas clonales empezaron a crecer más rápidamente y pronto superaron en talla y número de hojas a los controles, lográndose velocidades de crecimiento que permiten empezar a cosechar hojas dos años antes y con incrementos en la producción de biomasa de alrededor del doble. Lo anterior demuestra que la estrategia de clonar individuos elite fue la adecuada para este tipo de cultivo. Es necesario, sin embargo, aclarar que ello fue posible, al igual que con cempasúchil y tequila, por tratarse de cultivos que prácticamente no habían sido mejorados genéticamente y en los que el material original de plantación había sido de baja calidad. Algo semejante hubiera sido imposible, por ejemplo, con cultivos como el maíz o el jitomate que han sido extensivamente mejorados durante muchos años.

Alguien que merece una mención especial es el ingeniero Alejandro Aguilar, propietario de la Hacienda Santa Teresa en Telchac Pueblo, quien mantuvo las plantaciones hasta el final y pudo cuantificar los beneficios que pueden derivarse del uso de los materiales clonales (Eastmond *et al.*, 2000). Don Alejandro ha sido, además, un apoyo continuo para nuestro trabajo.

En proyectos financiados por la Fundación SISIERRA, llegaron a establecerse ocho viveros y cinco plantaciones experimentales en la zona henequenera, pero todo llegó a un abrupto fin cuando el Huracán Isidoro destruyó los viveros y dañó seriamente las plantaciones. Lo anterior, aunado a que el proyecto se vio siempre afectado por los vaivenes políticos respecto al henequén, puso las evaluaciones en campo en un estado de latencia durante muchos años, pero nunca fue abandonado pensando en que tarde o temprano habríamos de escalarlo y cumplir con la misión encomendada.

La investigación sobre la genética, fisiología y bioquímica de los agaves cultivados *in vitro* fue también una actividad importante. Estudios sobre el metabolismo nitrogenado, desarrollados con Víctor Loyola y Lizbeth Castro, sobre fotosíntesis en los que participaron Brian Maust y Francisco Espadas, y sobre la biología reproductiva, que dirigió Mykola Piven, etc. y los proyectos con otras especies del género, como *Agave tequilana* Weber desarrollado,

inicialmente, para la compañía Tequila Cuervo, y posteriormente y a lo largo de muchos años para Tequila Herradura (ver el Cap. 14 en este libro), y *A. angustifolia* Haw. (bacanora), desarrollado en colaboración con el CIAD, han mantenido activa la investigación sobre agaves durante todos estos años. El conocimiento y la experiencia adquiridos con el henequén han sido claves en el éxito del desarrollo de estos otros proyectos.



**Figura 2. Plantaciones:** a) primera reunión con Don Ernesto Molina y miembros de la Unión de Crédito Agrícola y Ganadero de Yucatán; b) viveros de plántulas micropropagadas en la Hacienda San Felipe Chuylem del Ing. Bartolomé Estrada; c) plantaciones experimentales en la Hacienda de Santa Teresa, del Ingeniero Alejandro Aguilar; d) evaluación del desarrollo de las plantas clonales; e) estado de las plantaciones tras el paso del huracán Isidoro; f) evaluación final de las plantaciones.

### Variabilidad genética

Los intentos de generar planta de semilla de henequén nunca fueron exitosos y sólo pudimos rescatar embriones germinados *in vitro*. La razón de esto la supimos años más tarde, cuando estudios citométricos y de FISH realizados en colaboración con los Dres. Ilia y Andrew Leitch, de los Reales Jardines Botánicos en Kew y Queen Mary (Universidad de Londres), revelaron que aunque el nivel de ploidía es extremadamente constante en las plantas normales y micropropagadas, el contenido de ADN de las plántulas de semilla fluctúa entre el equivalente a un hexaploide y un decaploide.

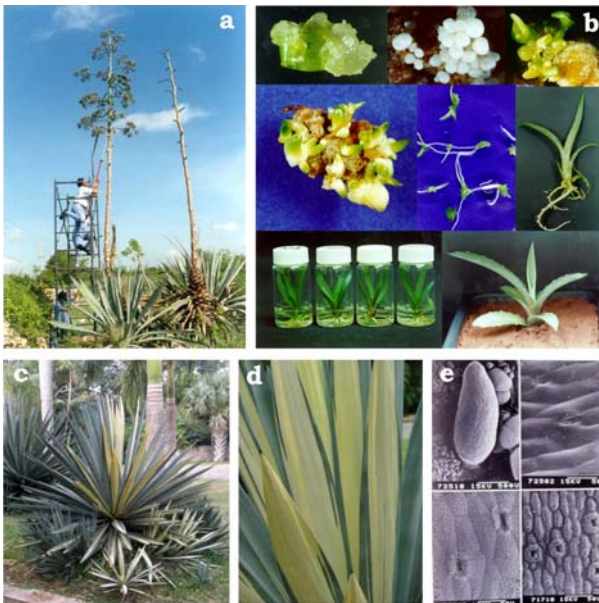
La mayoría de los agaves, y esto es particularmente cierto en el caso del henequén, se propagan asexualmente por lo que, en teoría, las plantaciones deberían ser muy homogéneas. ¿De dónde, entonces estábamos seleccionando individuos con características notables? El análisis de las plantaciones revelaba, sin embargo, cierto grado de variabilidad de la que sería posible seleccionar individuos elite. Por otro lado, era posible que, tratándose de una especie pentaploide tuviera una importante cantidad de variabilidad enmascarada por la presencia de cinco alelos de un mismo gen. Lo anterior dio lugar a un análisis por medio de marcadores moleculares (AFLP) que mostraron la existencia de dicha variabilidad, y más importante aún, que se genera y acumula variación genética en los tejidos meristemáticos que dan origen a los nuevos vástagos y que es transmitida a la descendencia. Los resultados de esta investigación, producto de un proyecto financiado por el Conacyt y la tesis doctoral de un estudiante, fueron robados de la institución por un investigador extranjero y publicados desde otro país sin los nombres de los autores principales. Los mecanismos que dan origen a esta variación están ahora siendo estudiados por Felipe Sánchez Teyer en varias especies de agaves, incluidas *Agave tequilana* (ver Cap. 14) y *A. angustifolia*, y es posible que se deban, principalmente, a la acción de retrotransposones.



**Figura 3. Nuevos métodos de cultivo:** a, b y c) cultivo de henequén en biorreactores BioMINT; d y e) nuevo biorreactor de irrigación temporal.

## El presente y futuro del henequén

Acorde con los ciclos de cambios políticos y a nuevas oportunidades de mercado, generadas por la apremiante necesidad de proteger el medio ambiente, podría darse una reactivación de la industria henequenera. De hecho, ésta ha sido analizada ya en varios niveles del sistema de producción. Las posibilidades de desarrollo de nuevos productos en el área de materiales compuestos, de extracción de sustancias de alto valor agregado, como los fructo-oligosacáridos, y la posibilidad, al menos en teoría, de emplear los desechos en la fabricación de biocombustibles podrían coadyuvar a dar mayor rentabilidad a este cultivo. Sin embargo, no debe perderse de vista que si la industria henequenera va a tener un futuro económicamente viable, será necesario que pueda competir ventajosamente en los mercados mundiales con los productos de otros agaves originados, principalmente, en Brasil, África del Este y ahora también en China. Lo anterior representa un reto enorme y requerirá del desarrollo de productos competitivos, de una mercadotecnia agresiva y de una producción eficiente en el campo, y esto último, de una modernización del manejo del cultivo que permita, entre otras cosas, un eficiente control de plagas y enfermedades, pero sobre todo, de líneas o variedades seleccionadas que generen altos rendimientos de biomasa en forma de fibra o azúcar.



**Figura 4. Otros estudios:** a) estudios sobre la reproducción sexual del henequén; b) estudios sobre deposición de ceras epicuticulares en plántulas cultivadas *in vitro*; c y d) quimera somaclonal variegada de H 11648; d) embriogénesis somática, y e) estudios de ploidía de agaves por medio de FISH.

La selección y clonación de individuos elite de rápido crecimiento y sobreproducción de biomasa será un elemento fundamental en la consecución de este objetivo, y para ello, el CICY tiene la tecnología a disposición de quien la requiera. Sería maravilloso ver al henequén convertido una vez más en una fuente de generación de riqueza y beneficios para la gente en el estado y que esto se deba, en parte, a la contribución del CICY. Después de todo, ése fue el objetivo con el que se inició el proyecto y por el que hemos trabajado tantos durante tantos años.



**Figura 5. El grupo de investigación en agaves:** el grupo en 1998. De pie (de izq. a der.): Ernesto Reyes, Felipe Tuz, Brian Maust, Mykola Piven, Javier Mijangos, Andrés Quijano, José Luis Herrera, Francisco Espadas, Gabriel Ojeda, Amílcar Castillo, Gastón Herrera, Eduardo Balam. Al frente, en el mismo orden: Felipe Barredo, Ileana Borges, Rosa Osorio, Manuel Robert, Patricia Loza, Miguel Ángel Herrera y Eduardo Castillo. A la derecha, arriba, Keith Scorer, y abajo, Isidro Castorena.

## Referencias

- Castro-Concha, L., J. L. Herrera, M. L. Robert and V.M. Loyola-Vargas. 1989. Ammonia assimilation during the micropropagation of vitrified *Agave fourcroydes*. *Plant Physiol.*, 89: 125s.
- Cruz, C., L. del Castillo, M. L. Robert y R. N. Ondarza (eds.). 1985. Biotecnología y Aprovechamiento Integral del Henequén y Otros Agaves. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida, Yuc., México. 297 p.

- Cruz-Ramos, C. A., R. Orellana and M. L. Robert-Díaz. 1985. Agave research progress in Yucatan. *Desert Plants*. 7: 71-92.
- Eastmond, A., J. L. Herrera-Herrera y M. L. Robert. 2000. La biotecnología aplicada al henequén: Alternativas para el futuro, CICY, Mérida, Yucatán. 106 p.
- Piven-Michailovich, M., F. Barredo Pool, I. Borges-Argáez, M. Herrera-Alamilla, A. Maro-Mosqueda, J. L. Herrera-Herrera and M. L. Robert-Díaz. 2001. Reproductive Biology of Henequén (*Agave fourcroydes*) abn its Wild Ancestor (*Agave angustifolia*, Agavaceae) I. Gametophyte development. *American Journal of Botany*, 88: 1966-1976.
- Robert, M. L., J. L. Herrera-Herrera, F. Contreras-Martín and K. Scorer. 1987. *In vitro* propagation of *Agave fourcroydes* Lem. (henequen), *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 8: 37-48.
- Robert, M. L., J. L. Herrera, J. L. Chan and F. Contreras. 1992. Micropropagation of *Agave* spp. In: Y.P.S. Bajaj (ed.): *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, Vol. 19: High - Tech and Micropropagation III. Springer - Verlag, p.306-329.
- Robert, M. L., J. L. Herrera-Herrera, M. A. Herrera-Alamillo, A. Quijano-Ramayo, E. Balam Uc. 2004. Manual for the *in vitro* Culture of Agaves. Common Fund for Commodities: Technical Paper No. 38. CFC/UNIDO, Vienna.
- Robert, Manuel L. 1998. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. En: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Historia de las Instituciones del Sistema SEP-Conacyt. Carlos O'Farril Santibáñez (coord.). México. SEP-Conacyt. p. 111-143.



# Química Aplicada y la División de Química

*Carlos A. Cruz Ramos*

Agradezco el privilegio que me ha ofrecido el CICY para escribir el presente capítulo. En especial, aprecio el apoyo del Dr. Manuel de J. Aguilar V. y la paciencia de la Lic. Gabriela Herrera Martínez. Aprovecho la oportunidad para manifestar mi reconocimiento a todos aquellos que colaboraron conmigo durante mis ocho años en el CICY, incluyendo a los investigadores, técnicos, becarios y personal administrativo, cuya labor dudosamente habría podido tener mejores frutos que los que hoy vemos.

## **Introducción**

Las actividades del Departamento de Química Aplicada del CICY se iniciaron formalmente con mi contratación a mediados de 1980. Se buscaba inicialmente apoyar los proyectos de materiales compuestos ya iniciados en el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM, utilizando fibra corta de henequén (Pardilla *et al.*, 1982; Vera, 1982). A medida que se investigaron más a fondo las opciones que podían contemplarse en el área de química, se empezaron a proponer nuevas líneas de investigación, lo que requirió de la contratación del personal idóneo, así como de adquisiciones de equipo y material bibliográfico. Con estos elementos se fue concretando la noción de crear una unidad independiente, lo que llevó a establecer al Departamento de Química Aplicada a mediados de 1981.

Originalmente, el Departamento estuvo alojado durante dos años en un laboratorio facilitado por el IIM, en la Ciudad Universitaria de México, mientras se construía la sede final en los terrenos de Xcumpich, en Mérida. A mediados de 1982, se llevó a cabo la mudanza del personal y equipo a Mérida.

El concepto del CICY para el Departamento estaba basado en el modelo establecido en el Centro de Investigación en Química

Aplicada (CIQA) de Saltillo, fundado años atrás por el Dr. Enrique Campos López y el Conacyt, y que había demostrado tener gran éxito. La idea fundamental era aprovechar recursos naturales renovables de la región para desarrollar productos de interés comercial. El ejemplo de CIQA más significativo en este sentido fue el hule extraído de la planta del guayule. Sin embargo, este mismo Centro había logrado importantes avances en el aprovechamiento de fibras de palma (*Yucca carnerosana*) y lechuguilla (*Agave lechuguilla*), propias de la zona ixtlera del norte de México (Belmares *et al.*, 1985).

El contacto entre el CICY y el CIQA fue frecuente durante los primeros años. La experiencia del CIQA fomentó principalmente ideas y métodos, aunque no era totalmente aplicable, dada la diferencia en la realidad regional de ambos centros. Por ejemplo, la poderosa y bien establecida infraestructura industrial de la zona de Monterrey y Saltillo, constituía una clara diferencia de logística con respecto al entorno del CICY. Paulatinamente, esta situación ha ido cambiando, pero es indudable que los enfoques tenían que ser distintos.

Era necesario establecer líneas de investigación que produjeran resultados de utilidad práctica enfocados a la región, así como continuar desarrollos tecnológicos ya iniciados en otras instituciones para capitalizarlos en el plazo más corto posible. Nuestro cliente inicial más visible y lógico era uno solo: el monopolio estatal Cordemex. Con éste se establecieron buenas relaciones y se llegó a trabajar conjuntamente, en especial con el Ing. Hernán Cruz, Director de Desarrollo Tecnológico. Sin embargo, era necesario ampliar nuestro campo de acción para aprovechar mejor nuestros recursos y atraer, mediante la variedad de opciones y proyectos, un mayor número de investigadores para formar una masa crítica que permitiera la continuidad del grupo.

### **Inicios del Departamento: las líneas de investigación y el reclutamiento de personal**

La planta industrial mexicana a principios de los años 80 estaba concentrada en las áreas de México, D.F.-Toluca-Querétaro, Guadalajara y la ya mencionada Monterrey-Saltillo. La densidad de instituciones académicas y de investigación era más elevada en esas mismas regiones. Era lógico que la oferta de empleos en esas áreas fuera superior para los profesionales de química.

Aparte de los alicientes de tipo administrativo y remunerativo, así como la alta calidad de vida de Mérida, era preciso establecer líneas de investigación que, al tiempo de ser atractivas para potenciales investigadores, tuvieran una inclinación aplicada que llevara a futuros desarrollos tecnológicos netamente ligados a los recursos renovables de la Península. Este balance entre investigación científica e incipiente desarrollo tecnológico fue, indudablemente, un reto importante.

El aprovechamiento integral del henequén constituyó al principio, el reto ineludible para el Departamento.

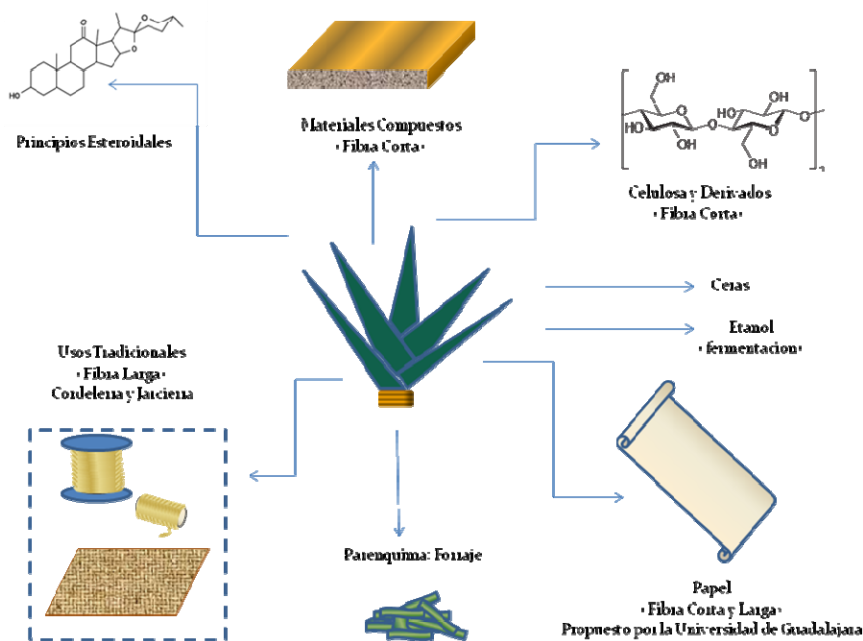


**Figura 1.** El henequén y el aspecto exterior de una típica desfibradora.

El mercado de las fibras naturales, en lo que se refería a usos tradicionales como cordeles y jarcias, estaba en franco deterioro. Por años se habían buscado usos alternativos para la fibra y se sabía que el jugo, subproducto del desfibrado del henequén contenía saponinas esteroidales que podían emplearse en productos de alto valor agregado. Era, por lo tanto, indispensable y urgente, enfocar nuestro interés en proyectos que pudieran presentar no únicamente un reto científico, sino una realidad tecnológica y aun comercial.

### **Inicio del Proyecto**

La información técnica disponible sobre el henequén y los estudios con varios grados de avance para el aprovechamiento de otros agaves y plantas productoras de fibra, permitieron concebir diversos proyectos que reseña la figura 2 (Belmares *et al.*, 1985; Cruz-Ramos, Del Castillo *et al.*, 1985).



**Figura 2.** Temas iniciales y potenciales de investigación para el Departamento de Química Aplicada. (Fig. basada en la que aparece en Cruz-Ramos, Orellana y Robert, 1985).

Debe destacarse que la obtención de materiales compuestos a partir de la fibra se estableció como proyecto enfocándolo a la fibra corta, es decir, aquélla que no tenía la longitud suficiente para utilizarse en cordelería, evitando así un conflicto con esta industria.

El beneficio de las saponinas para la obtención de principios esteroidales se eligió como línea de investigación luego de diversas conversaciones con Cordemex, en donde la separación y la purificación adecuada de hecogenina por parte de esa empresa, jugaron un papel clave para la formalización del proyecto que, en su momento, llegó a ser el más importante del área de Química.

El elevado contenido de celulosa en la fibra de henequén hacía que una opción interesante para la utilización de la fibra corta fuera la obtención de rayón y otros derivados. Este proyecto se estableció como una vía similar, pero de mayor valor comercial, en potencia, en comparación con la obtención de pulpa y papel.

En lo que respecta a la producción de papel, la Universidad de Guadalajara había ya tomado la iniciativa realizando un pro-

yecto en este sentido y planteando la posibilidad de establecer una planta de procesamiento para papel y pulpa basada en el uso de toda la fibra (Villalvazo *et al.*, 1985). Pese a que este planteamiento no llegó a realizarse, la información técnica generada y la disponibilidad y consejo técnico del M. en C. Juan Villalvazo, principal investigador del proyecto, fueron sumamente valiosos para los estudios del CICY sobre derivados de celulosa.

Otras alternativas, como la extracción de las ceras presentes en la cutícula o la obtención de etanol por fermentación, no se realizaron en un principio por juzgarse que tenían una prioridad o atractivo menor.

#### MATERIALES COMPUESTOS

La elaboración de materiales compuestos basados en la fibra corta de henequén era una extensión lógica de otros trabajos ya iniciados en otras instituciones (Belmares *et al.* 1982; Padilla *et al.*, 1982; Vera *et al.*, 1982; Belmares *et al.*, 1985). Nuestra participación en esta área se inició apoyando al Instituto de Investigaciones en Materiales en el desarrollo y presentación de una bodega de almacenamiento al Sistema Alimentario Mexicano (SAM) construida a base de un material compuesto (resina poliéster insaturado, arena, colchón de fibra de henequén, malla de alambre).

La bodega contemplaba la fabricación de paneles a base del material compuesto. Éstos se unirían modularmente para formar una estructura geodésica para soportar los rigores del clima. Una parte atractiva del diseño era el uso de paneles fotovoltaicos para el aprovechamiento de la energía solar en la climatización y circulación de aire de la bodega.

Aunque las propiedades físicas básicas del material eran adecuadas, la fabricación de los módulos era compleja y sólo ciertos fabricantes hubieran podido elaborar este compuesto, que requería de un alto grado de labor manual. Dado que se trataba de un material nuevo, era también necesario llevar a cabo pruebas de durabilidad y compararlo con otros ya bien establecidos. Pese a que el SAM contempló al diseño presentado como una opción importante dentro de las concursantes, decidió finalmente centrarse en diseños más probados en el campo. No obstante esta situación, el material sembró el interés de investigar más a fondo la posibilidad de usar la fibra corta de henequén como material de refuerzo en sistemas similares a la fibra de vidrio.

Aunque se había realizado una caracterización inicial de la fibra de henequén (Belmares *et al.*, 1981; 1985), era necesario establecer sus propiedades físicas para conocer su potencial como material de refuerzo. La tabla 1 muestra los datos generados en el CICY, que confirman y amplían lo reportado con anterioridad. En base a esta información se puede calcular con qué facilidad la fibra puede actuar como refuerzo de diferentes matrices poliméricas. Este ejercicio consiste en comparar los valores del módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción de la fibra con respecto a los de la matriz. La razón así obtenida debe ser al menos de uno para que la fibra funcione como refuerzo y no únicamente como carga. Esto es especialmente para la razón de módulos. Entre mayor de uno sea la razón, más “reforzable” es la matriz.

**Tabla 2.** Propiedades Físicas y Mecánicas de la Fibra de Henequén

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Típica</b>
Diámetro	μ	170	5
Densidad Lineal	denier	331	138
Densidad Aparente	-	1.49	-
Porosidad	%	42	-
Resistencia a la Tracción	MPa	560	310
Módulo de Elasticidad	GPa	12	3.3
Elongación al punto de ruptura	%	3.5	1.2

Datos de la ref. (xx)

Tenacidad	g/denier	4.7	-
Módulo de elasticidad	g/denier	103	-
Elongación al punto de ruptura	%	4.7	-

Cabe mencionar que, como cualquier fibra de celulosa es, en sí, un material compuesto por microfibras, éstas se pueden beneficiar a partir de procesos convencionales similares a la digestión para la obtención de pulpa. Lo interesante de las microfibras es que su rigidez es de órdenes de magnitud más alta que la fibra

entera (Cruz-Ramos, 1985; Aguilar y Cruz-Ramos, 1995), lo que le confiere un potencial sumamente interesante para el refuerzo de un gran número matrices.

La caracterización y la utilización de fibras en resinas poliéster y en poliuretanos se iniciaron como temas de investigación bajo la responsabilidad del M. en C. Francisco López-Serrano y el Ing. Ezequiel Moreno, con el apoyo del hoy Dr. Fernando Hernández. La continuación de estos trabajos estuvo a cargo del hoy Dr. Manuel de J. Aguilar Vega y del Dr. Pedro Herrera.

El proyecto que contemplaba la utilización de fibras en poliuretano recibió un financiamiento del Conacyt. La aparente absorción diferencial de los componentes del poliuretano, pero sobre todo, la humedad presente en las fibras afectaban la cinética de polimerización (Aguilar y Cruz-Ramos, 1988).

Otro aspecto interesante del uso de fibras de henequén que se consideró interesante proseguir era su papel en matrices no poliméricas. En particular, se observó la actividad de las fibras en yeso. Aparte de funcionar hasta cierto punto como refuerzo, más probablemente debido a su efecto sobre el curado del material que a la rigidez de la fibra, fue interesante detectar que podía haber un aumento en el coeficiente de absorción sonora del yeso, utilizado ampliamente en la construcción como tabla roca. La Ing. Estela Castro preparó materiales cuyas propiedades acústicas fueron determinadas en el Politécnico de Sheffield, en Inglaterra, gracias a la gentileza del Dr. David Clegg.

Otra aplicación poco común fue la elaboración de cuellos térmicos o “mazarotas”, que servían para un mejor control en el proceso de enfriamiento de lingotes de acero, pero estaban manufacturadas con asbesto. En este caso, se utilizaron residuos del bonote de coco para la producción de mazarotas, substituyendo al asbesto y reeditando en un mayor contenido calórico y exotermicidad. Aunque técnicamente el proceso de elaboración se estimó factible, la situación por la que atravesaba la industria del acero pospuso un mayor desarrollo.

Es interesante notar que el campo de las fibras naturales, que en aquel entonces se iniciaba con el afán de utilizar la disponibilidad de recursos naturales en países como el nuestro (Cruz-Ramos y Bos, 1986), hoy día haya avanzado al grado de que diversos tipos de fibras de origen natural se empleen incluso en aplicaciones que requieren de cierta sofisticación, como la industria

automotriz. Varios modelos de automóviles, como Mercedes Benz, Porsche, Ford, Volkswagen y otros han incorporado materiales basados en fibras naturales (Eller, 2007).

#### ESTEROIDES A PARTIR DEL JUGO

El jugo del henequén contiene alrededor del uno por ciento de las llamadas saponinas esteroidales. En la Segunda Parte de este libro (Sección IV: Los Temas de Investigación), Gamboa y Gus presentan un apartado al respecto.

#### CELULOSA A PARTIR DEL HENEQUÉN

El elevado contenido de celulosa en la fibra de henequén la hacía idónea como fuente de celulosa de alta calidad. Si fuera posible el beneficio de la celulosa, ésta se obtendría de la fibra corta del henequén, es decir, de aquella porción que no estaba destinada para algún uso específico. Puesto que la fibra larga era la materia prima para la fabricación de cuerdas y demás, la utilización de fibra corta para la obtención de celulosa o en materiales compuestos evitaba una interferencia con los usos tradicionales, en contraste con la fabricación de pulpa y papel que, para ser económicamente viable, requería del aprovechamiento de toda la fibra.

Este punto de partida para la preparación de materiales de más alto valor agregado, nos impulsó a procurar tratamientos que permitieran la preparación de pulpas de celulosa que, en principio, podrían después transformarse en diferentes derivados, como el rayón, acetatos, etc.

La Dra. Noemí Cazaurang tuvo a su cargo el seguimiento de este proyecto, que culminó con la publicación de los procesos para la preparación de pulpas solubles a partir de la fibra.

#### BONOTE DE COCO

El coco (*Cocos nucifera* L.), otra abundante materia prima en la península de Yucatán, captó nuestra atención dado el alto contenido de lignina en la cáscara exterior, o "bonote", del fruto, que puede alcanzar un 33 por ciento. El aprovechamiento tradicional del coco era, mayoritariamente, en la producción de aceite, con lo que la captura de material de desecho que proviniera de la industria productora de aceite y derivados podría ser otra línea de in-



vestigación sumamente atractiva, y a mediano plazo, constituirse en otra industria benéfica para la región.

Una enorme cantidad de investigaciones en países avanzados, especialmente en lo que entonces era la URSS y en Japón, demostraban que la lignina se podía utilizar en una amplia gama de aplicaciones. Entre otras, se contaban la producción de aditivos para concreto, carga para plásticos y, con modificaciones químicas, como vehículo de adhesión (binder) en la producción de materiales compuestos. Puesto que la mayor parte de la lignina disponible a nivel internacional provenía de fuentes como la corteza de árboles, además de ser naturalmente diferentes al coco, estas fuentes son renovables únicamente a largo plazo. Para tener una mejor idea del potencial real del bonote, era necesario tener una idea más definida de su constitución y naturaleza química. El hoy Dr. Humberto Vázquez realizó el trabajo de caracterización de manera exhaustiva y los resultados se publicaron a principios de los años 90 (Vázquez-Torres *et al.*, 1992a; 1992b; 1993).

Cabe anotar que, hoy día, la lignina proveniente de la producción de pulpa y papel, en forma de lignosulfonatos, es un producto comercial plenamente aceptado y empleado en la industria del concreto.

## YUCA

Aunque la yuca (*Manihot esculenta*) era un material abundante sólo en ciertas zonas de la península yucateca, presentaba el atractivo de un alto contenido de almidón en sus tubérculos. El almidón podría servir como base para la obtención de polímeros de alto poder absorbente (“superabsorbentes”) mediante reacciones relativamente simples. Se contemplaba que el material serviría para la captura de agua, lo que beneficiaría el mantenimiento de cultivos en el poroso suelo de la Península. Esto podría constituir una importante industria que aprovechaba otro recurso sustentable.

La Dra. Delia López Velázquez, inicialmente y, con posterioridad, la Dra. Mercedes Vera Pacheco, tuvieron a su cargo realizar esta labor exploratoria.

## Reflexiones finales

A casi treinta años de haberse iniciado, es interesante contemplar cómo se ha desarrollado lo que fue el departamento de Química

Aplicada dentro del CICY. El propósito de establecer líneas de investigación de varios tipos era un tema de interés para aprovechar al máximo los recursos de la Península, y para los investigadores, empezando por el autor, una forma de aprender y entender más a fondo el estudio de recursos renovables de vista científico y tecnológico. Si bien podría argumentarse que el número de líneas de investigación era excesivo, era necesario contar con una suficiente variedad de temas que atrajeran nuevos investigadores y proporcionar a cada uno un tema independiente que pudiera desarrollar individualmente. Se esperaba que, mediante un proceso de evolución y selección natural, algunas de estas líneas se cimentaran y otras desaparecieran para dar lugar a nuevas ideas y objetivos. Al mismo tiempo, se esperaba que los investigadores ayudaran a formar estudiantes provenientes de las instituciones locales. Una vez capacitados técnica y científicamente, tras haber concluido programas de posgrado en otra institución de alto nivel, se confiaba en que un porcentaje razonable de ellos regresara al CICY para establecerse definitivamente y solidificaran la estructura del Centro. Es sumamente gratificante verificar que, a los treinta años de vida del CICY, el departamento cuente en su plantilla con un buen número de aquellos estudiantes, que hoy día son investigadores independientes y han ido desarrollando nuevas líneas de investigación, acrecentando el prestigio del Centro.

## **Referencias**

- Aguilar V., M. de J y C. A. Cruz-Ramos. 1988. Effects of Cellulosic Fibers on the Polymerization of a Polyurethane. *Polym. Eng. Sci.* 28, 1334.
- Aguilar V., M. de J y C. A. Cruz-Ramos. Properties of henequen cellulosic fibers. 1995. *J. Appl. Polym. Sci.* 56, 1245.
- Belmares, H., A. Barrera, E. Castillo, E. Verheugen, M. Monjarás, G. A. Patfoort y M. E. N. Bucquoye. 1981. New Composite Materials from Natural Hard Fibers, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.* 20, 555.
- Belmares, H., A. Barrera, E. Castillo, M. Monjarás, G. A. Patfoort, E. Verheugen y M. E. N. Bucquoye. 1985. El uso de fibras naturales duras como material de construcción. Estado de avance. En: Cruz, C., L. del Castillo, M. Robert y R. N. Ondarza (eds.). *Bioteología y Aprovechamiento Integral del Henequén y Otros Agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida, Yuc., México. p. 231.
- Cazaurang-Martinez, M. N., S. R. Peraza-Sanchez y C. A. Cruz-Ramos. 1990. Dissolving-grade pulps from henequen fiber. *Cellul. Chem. Technol.* 24, 629.

- Cruz, C., L. del Castillo, M. Robert y R. N. Ondarza (eds.). 1985. *Biotecnología y Aprovechamiento Integral del Henequén y Otros Agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida, Yuc., México.
- Cruz-Ramos, C. A. 1985. Mechanical Properties, Creep and Stress Relaxation in a Natural Fiber. 1985. En: Mena, B., A. García-Rejón and C. Rangel (eds.). *Advances in Rheology*, 9. Elsevier Science Publishers, New York. Vol. 3, Polymers, p. 733.
- Cruz-Ramos, C. A. 1986. Análisis Micromecánico del Comportamiento de Materiales Poliméricos Reforzados por Fibras Naturales. (A Micro-mechanical Analysis of Polymeric Materials Reinforced by Natural Fibers). Proc. 6<sup>th</sup> AMIDIQ Congress, Oaxtepec, México.
- Cruz-Ramos, C., R. Orellana y M. Robert. 1985. Agave Research Progress in Yucatan. *Desert Plants*. **7**, 71.
- Cruz-Ramos, C. A. and H. L. Bos. 1986. Natural-Fiber Reinforced. Thermoplastics, Ch. 3. In: Clegg, D. W. and A. A. Collyer (eds.). *Mechanical Properties of Reinforced Thermoplastics*. Elsevier Applied Science Publishers.
- Eller, R. 2007. Environmentally friendly auto interiors: Auto Interiors Show Detroit. MI June 6, 2007. [www.robortellerassoc.com](http://www.robortellerassoc.com)
- Eller, R. 2008. Automotive Interiors Technology Responses to Economic and Globalization Pressures. Auto Interiors Show Detroit, MI June 5. [www.robortellerassoc.com](http://www.robortellerassoc.com)
- Padilla, A., P. Fuentes, A. Sánchez y J. Cardoso. 1982. Aprovechamiento de desechos plásticos y fibras duras. En: Ogawa, T., B. Micheli, R. Cedeño (eds.). *Memorias del Primer Congreso Nacional de Polímeros*. UAM-Iztapalapa, Universidad de Sonora y CENETI. México, D. F. p. 140.
- Phillips, T. P. 1983. An overview of cassava consumption and production. 1982. In: Delange F. and R. Ahluwalia (eds.). *Cassava Toxicity and Thyroid; Proceedings of a Workshop*, Ottawa, (International Development Research Centre Monograph 207e). International Development Research Centre. Ottawa, Canada. pp. 83-88.
- Vázquez-Torres, H., G. Canché-Escamilla y C. A. Cruz-Ramos. 1992a. Coconut husk lignin. I. Extraction and characterization. *J. Appl. Polym. Sci.* 45, 633.
- Vázquez-Torres, H., G. Canché-Escamilla y C. A. Cruz-Ramos. 1992b. Coconut husk lignin. II. Characterization by infrared and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *J. Appl. Polym. Sci.* 45, 645.
- Vázquez-Torres, H., G. Canché-Escamilla y C. A. Cruz-Ramos. 1993. Coconut husk lignin. III. Reactivity of alkaline extracts with formaldehyde". *J. Appl. Polym. Sci.* 47, 37.
- Vera, R. 1982. Elaboración y Propiedades de Tableros de cáscara de coco, bagazo de caña y partículas de madera, aglomerados en su propia resina. En: Ogawa, T., B. Micheli, R. Cedeño (eds.). *Memorias del*

Primer Congreso Nacional de Polímeros. UAM-Iztapalapa, Universidad de Sonora y CENETI. México, D. F. p. 154.

Villalvazo N., J., F. de J. Ramírez C. y K. A. Grellmann. 1985. Estudios técnicos y económicos para la instalación de una planta de celulosa y papel a partir del henequén, en el estado de Yucatán. En: Cruz, C., L. del Castillo, M. Robert y R. N. Ondarza (eds.). *Biotecnología y Aprovechamiento Integral del Henequén y Otros Agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida, Yuc., México. p. 213.



## PRIMERA PARTE



### **Sección III: Un poco de historia**



# 1990-1998 Una retrospectiva personal

*Manuel Robert*

## **Introducción**

Tratar de enmarcar en periodos el desarrollo de una institución no es ni exacto ni adecuado, ya que dicho desarrollo es un *continuum*; sin embargo, trataré de relatar algunos de los hechos que ocurrieron durante estos años, algunos muy satisfactorios y otros muy frustrantes, pero que ilustran lo “colorido” del entorno en el que se crearon y se desarrollan los centros de lo que hoy es el Sistema de Centros Públicos de Investigación Conacyt. En principio, se continuó la mayoría de las acciones desarrolladas durante la gestión de Luis Del Castillo y se empezaron otras a medida que el Centro crecía. Se iniciaron también nuevas líneas de investigaciones, muchas de las cuales continúan hoy en día.

## **Organización institucional**

La estructura del Centro, tal como había quedado establecida desde el periodo anterior, se componía de la Dirección General, una Dirección Administrativa y Áreas académicas.

La Dirección Administrativa estuvo a cargo del Lic. Hernán Gustinianovic y posteriormente de José Manuel Cabrera, Juan Duch Gary y Carlos Figueroa. La Dirección Académica, que incluía los servicios de apoyo como biblioteca, cómputo, posgrado, etc., estuvo a cargo de Jorge Bolio y Raúl Murguía.

## **Las Divisiones de Investigación**

Las Divisiones de Investigación eran: la División de Química Aplicada, que estuvo a cargo del Dr. Alfredo Márquez, se dividía en dos Departamentos: Polímeros, a cargo del mismo Alfredo Márquez, y Química Orgánica, encabezado primero por Jorge Reyes y posteriormente por el Dr. Luis Manuel Peña. La División de Biolo-

gía Vegetal bajo la Dirección del Dr. Víctor M. Loyola se componía, por su parte, de tres Departamentos: Bioquímica, Biotecnología, que, en cierta forma formaban un solo grupo, y Recursos Naturales, que estuvo a cargo de la Dra. Patricia Colunga, y posteriormente, de la Dra. Ingrid Olmsted.

### **Las líneas de investigación**

Entre los principales proyectos de investigación desarrollados en la División de Biología Vegetal durante este periodo destacan los proyectos vinculados con las agroindustrias Tequila Herradura y Bioquimex (Ver Cap. 14 y 20), y las investigaciones de gran envergadura sobre el amarillamiento letal del cocotero (Cap. 16) y la biosíntesis de alcaloides (Cap. 12). Asimismo, se iniciaron nuevos proyectos de plátano y cafeto (Cap. 24 y 23, respectivamente). La selección de nuevos proyectos se basaba en una estrategia de especialización (tal vez sería más adecuado decir de no dispersión) sobre cultivos de importancia económica, particularmente cultivos de plantación y de preferencia tropicales en los que existía un importante nicho de oportunidad. El objetivo era concentrar los recursos humanos y materiales en esfuerzos multidisciplinarios para lograr avances importantes y aplicables a la solución de problemas en el campo.

En el área de polímeros debemos señalar el desarrollo del cable para la detección de fugas de hidrocarburos, basado en una invención del Dr. Alfredo Márquez que dio lugar a una colaboración entre varios centros del Sistema, y la producción de materiales compuestos a partir de fibra de henequén y otros polímeros (Cap. 17). El reciclamiento de desechos domésticos e industriales como los empaques de cartón para alimentos líquidos (tipo Tetrapack), en la elaboración de tableros aglomerados para materiales de construcción y la fabricación de muebles propició la necesidad de establecer una planta piloto para estos propósitos. En Química Orgánica sobresale el proyecto con la empresa paraestatal “La Forestal” de Saltillo, Coahuila, para el desarrollo de una tecnología para la obtención de esmilagenina de la lechuguilla (Cap. 15).

En el área de recursos naturales destacan las investigaciones etnobotánicas sobre agaves (Cap. 11) y palmas (Cap. 21) que fueron, además, un claro ejemplo de colaboración multidisciplinaria dentro de la institución, los proyectos sobre biodiversidad con la Conabio y la conservación de especies en peligro de extinción.



En el Jardín Botánico Regional destacan el establecimiento de nuevas colecciones, tanto de especies nativas como de germoplasma y el incremento en las actividades educativas. Este grupo también participó activamente en el desarrollo de otros jardines botánicos y parques en Yucatán y Quintana Roo.

Un caso específico que me gustaría contar es el del amarillamiento letal del cocotero. La presencia de la enfermedad en el Caribe, principalmente Jamaica y la Florida, pedía a gritos acciones preventivas en México, por lo que la institución decidió encauzar un esfuerzo multidisciplinario hacia este cultivo. Las primeras acciones en esta dirección se dieron en 1988 durante una visita al CICY del Dr. H. F. Taylor (*Wye College*), quien propuso que, dado que la Universidad de Londres había terminado su relación de trabajo con la empresa Unilever, podíamos iniciar una colaboración de investigación con ellos y sacar ventaja de los muchos años de experiencia de la Dra. Jennet Blake. Lo anterior dio como resultado un proyecto de colaboración entre los grupos de Biotecnología, Bioquímica y Recursos Naturales y otros países como el Reino Unido, Francia y Estados Unidos, que fue financiado por La Unión Europea y el Conacyt (ver Cap. 16).

En: “La problemática del amarillamiento letal del cocotero en México” quedaron establecidas las estrategias a seguir. De particular importancia fue la decisión de que debía de ser un mega proyecto de largo plazo que sobreviviera a los cambios administrativos, ya fueran éstos trimestrales o sexenales, por lo que propuse al Órgano de Gobierno del CICY que aprobara un proyecto que concluiría el 31 de diciembre del 2016. Lo anterior fue recibido con un silencio helado y cuando creí que me pondrían una camisa de fuerza, el Dr. Jaime Martuscelli de la UNAM, rompió el hielo al manifestar que su única preocupación sobre la propuesta era que, si bien yo había señalado que el proyecto terminaría el 31 de diciembre del 2016, no había precisado si por la mañana o por la noche. El proyecto fue aprobado y hoy en día está cristalizando los resultados de años de esfuerzo y demostrando la importancia de los compromisos de largo plazo en la investigación de cultivos perennes.

### **El posgrado en Biotecnología**

La formación de recursos humanos fue una actividad preponderante en el CICY desde su creación. El primer programa de posgrado había estado ligado al Instituto Tecnológico de Mérida que,

de hecho, era la institución que otorgaba los grados; había llegado el momento de iniciar algo nuevo. A mediados de 1993, el Dr. Víctor M. Loyola me propuso la creación de un doctorado directo en el campo de la biotecnología vegetal. El Centro había madurado lo suficiente, por lo que la propuesta fue acogida con entusiasmo. El nuevo programa inició sus labores en abril del año siguiente (ver Cap. 9).

### **Desarrollo institucional**

El crecimiento físico durante estos años se inició con la construcción del edificio de estudiantes, con el que se buscaba dar condiciones óptimas a los alumnos de posgrado proporcionándoles áreas de estudio, de descanso, e inclusive, facilidades para pasar la noche en el Centro cuando sus experimentos así lo requirieran. La construcción de lo que es hoy la planta baja se logró por un apoyo especial que obtuvimos gracias a las gestiones de José Hinojosa, de la Secretaría de Programación y Presupuesto. Le siguieron la remodelación de la biblioteca, en donde se crearon áreas para las colecciones de revistas y para usuarios foráneos; el edificio de Recursos Naturales, que finalmente daba instalaciones adecuadas al grupo incluyendo laboratorios y un área adecuada para el Herbario que ahora incorporaba las colecciones del Herbario del desaparecido INIREB; la adecuación y equipamiento de la planta piloto de polímeros, que ofrecía a este grupo la posibilidad de escalar la producción de materiales compuestos. El Jardín Botánico se amplió para incluir las colecciones de palmas, la vegetación de las dunas, etc. y se construyó la palapa. La estructura de viveros se incrementó tanto en el número de camas como con la construcción de invernaderos y el área de propagación comercial.



**Figura 1.** Entrada principal en 1994 tras la remodelación de la biblioteca.



**Figura 2.-** a y b) Inauguración del Nuevo edificio de Recursos Naturales por la Sra. Gobernadora Dulce María Sauri Riancho; c y d) inauguración de la planta piloto de materiales; e y f) inauguración del edificio de la Unidad de Metrología por el Secretario de Economía del Estado, Ing. Dájer; a su lado, el Dr. Héctor Nava, Director General del Centro Nacional de Metrología (CENAM).

Un problema no poco común es la adquisición de equipo del que no se obtiene lo que se espera de él. Uno de los equipos más grandes que se adquirieron en este tiempo y con el cual se esperaba obtener importantes resultados fue el biorreactor de 90 litros para el escalamiento de cultivos de células en suspensión y tal vez plántulas micropropagadas. Este equipo maravilloso, para el cual Conacyt nos dio un financiamiento especial, requirió de instalaciones *ad hoc*, incluida una grúa para moverlo, y se contrató a

personal para que lo operara. Funcionó muy pocas veces y los resultados no fueron los deseados. Queriendo verle el lado positivo a esto, el equipo sirvió para convencerme de que los procesos de escalamiento que requeríamos para micropropagación debían ser: modulares, sencillos de operar y baratos, y el resultado de esto es el diseño del BioMINT. Una fuente de inspiración costosa y complicada que aún me pesa en la conciencia.

El Laboratorio de Metrología.- La inminente firma del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica implicaba el desarrollo de infraestructura para el establecimiento de controles, entre los que la calibración de los aparatos de medición comerciales sería obligatoria. Conacyt financió la creación de unidades regionales dependientes del Centro Nacional de Metrología, y de este modo, se creó la unidad de Metrología del CICY que daría servicio a todo el Sureste. ¿Por qué una unidad de servicio desvinculada de la investigación en el CICY? Porque además de prestigio, dado que la calibración de los equipos de medición comerciales iba a ser obligatoria, nos daría una importante entrada de recursos propios que ayudarían al desarrollo de las investigaciones; esto último quedó en verborrea política.

El laboratorio de escalamiento.- La necesidad de optimizar el escalamiento de los sistemas de micropropagación desarrollados en el CICY y poder transferir paquetes tecnológicos completos a la industria llevó a la construcción de un laboratorio para estudiar la producción piloto que funcionaría como el brazo armado de los proyectos de investigación. Este laboratorio, especialmente diseñado para el escalamiento del cultivo *in vitro*, se construyó en la parte superior de la ampliación del Departamento de Biotecnología, que alberga las oficinas de la jefatura, oficinas para investigadores y el laboratorio de Fisiología Vegetal. El laboratorio de escalamiento quedó inconcluso debido a que el edificio de Metrología fue más caro de lo presupuestado y hubo que darle preferencia. Este laboratorio se convirtió, posteriormente, en ProPlanta, y es actualmente ocupado por laboratorios de biología molecular de la Unidad de Biotecnología.

Una iniciativa prometedora para ampliar las aéreas de influencia y la gama de proyectos vinculados del CICY fue la de crear una Unidad del CICY en Morelia, Michoacán. Todo se inició con una solicitud de apoyo para implementar un laboratorio para la micropropagación de orquídeas que ayudara a los programas de conservación del Orquidario de Morelia. El Gobierno de Michoa-

cán entendió, sin embargo, que ésta era una iniciativa muy limitada y que la oferta del CICY podría beneficiar a muchos otros cultivos de importancia económica, por lo que se tomó la decisión de que el CICY tuviera presencia en Michoacán. Tras decenas de viajes a Morelia, el Gobernador Figueroa firmó con el Conacyt la creación de dicha Unidad, que se construiría en el predio de La Carreta, sobre la carretera entre Morelia y el Aeropuerto. Se compró equipo, se contrató personal, y un buen día, con una varita mágica, el Conacyt desapareció el proyecto. Afortunadamente no desaparecieron ni el poco equipo que ya se había comprado, el cual quedó en Mérida, ni los técnicos que ya habían sido contratados quienes, afortunadamente, siguen trabajando con nosotros y disfrutando de buena salud.

### **La administración y el trauma del control absoluto**

Cuatro reuniones anuales del Comité de Control de Auditoría, mejor conocido por el chusco nombre de COCOA y cuatro de Órgano de Gobierno, no sólo representaban un enorme gasto, sino que un gran porcentaje del tiempo debía ser dedicado a la elaboración de informes y a la atención de observaciones. En algún momento consideré proponer que se cambiara el nombre del CICY por el de CACY (Centro de Administración Científica de Yucatán). Para las autoridades administrativas, las actividades académicas eran y continúan siendo secundarias. Lo importante es que la operación y el gasto estén autorizados y perfectamente claros como lo muestra el siguiente ejemplo: La medición por parte de los auditores externos reveló que la recientemente construida barda perimetral (el CICY no tenía barda en gran parte de su perímetro) era, en algunas partes 5 cm más baja de lo contratado, lo que significaba un daño patrimonial de \$500.00 M.N. Afortunadamente, en la Secretaría de la Contraloría, los Centros quedaron bajo la tutela del equipo de la Comisaria Alba Alicia Mora Castellanos, mujer muy inteligente y hermosa, que comprendía los problemas peculiares de los centros de investigación y estuvo siempre dispuesta a ayudar a resolverlos. Quiero mencionar también de manera especial al Lic. Héctor García y al Lic. Carlos O’Farril y a sus equipos en el Conacyt, por su apoyo continuo en la solución de los problemas administrativos y presupuestales.



**Figura 3.** a) El edificio de estudiantes; b) área de trabajo para estudiantes graduados; c) visita de la Sra. Gobernadora Dulce María Sauri Riancho a las nuevas colecciones del Jardín Botánico Regional; d) Verónica en la recientemente construida palapa del Jardín.



**Figura 4.-** Algunos eventos importantes: a) apertura del Simposio Internacional sobre Amariamiento Letal del Cocotero. Las caras de todos reflejan la gravedad de la situación; b) 12° Taller de Otoño; c) el Dr. Alfredo Márquez presentando el trabajo de la División de Materiales en una reunión del Consejo Técnico; d) apertura del Simposio Internacional sobre Biotecnología del Cocotero; e) el

Dr Alfredo Márquez presentando el cable detector de fugas de hidrocarburos al embajador de la Gran Bretaña; f) el Gobernador Federico Granja Ricalde y el Dr. Carlos Bazdrech, Director General del Conacyt, entregando reconocimientos a los fundadores del CICY.

### **Los vaivenes político económicos**

Conacyt, luego SPP Conacyt, después SEP Conacyt y otra vez Conacyt. Cambios de sistema, cambios de dirección, cambios de estilo, unos positivos pero otros no tanto. En pocas palabras, cambios caprichosos que afectan la operatividad. Los presupuestos también varían, en un momento recortes y más tarde repartición de saldos. Imposible planear a largo plazo. A fines de 1994 el país gozaba de una aparente bonanza económica y Fausto Alzati, responsable de la integración del Sistema SPP Conacyt, era el Secretario de Educación. Nos preparábamos para un periodo de desarrollo institucional y de pronto... los errores de diciembre y la salida de Fausto de la SEP nos devolvieron de golpe a la realidad del país.

### **Puerto Vallarta**

Un buen día de 1992, se nos informó que las reuniones de Órgano de Gobierno de todos los centros se llevarán a cabo de manera conjunta en Puerto Vallarta. Se nos informó también que a partir de ese momento formábamos parte de un nuevo Sistema, mucho más grande, de Centros SPP Conacyt que incorporaba también a las instituciones de investigación del sector educativo, incluidos el Cinvestav y El Colegio de México. En ese momento, dio inicio una época de gran desarrollo para los centros. Se creó la Comisión Puerto Vallarta y comenzó un periodo de interacciones y análisis dirigidos a consolidar la nueva alianza.

Desafortunadamente, lo que pudo haberse convertido en el sistema de investigación más importante del país se vio limitado por los mismos vaivenes políticos que lo crearon y por las rivalidades que generan.

### **Algunas reflexiones finales**

Tomar la responsabilidad de dirigir una institución de cualquier tipo es algo que se hace con una mezcla de sentimientos encontrados; por un lado, la responsabilidad de manejar una institución financiada con recursos fiscales que debe responder a necesidades del país y, por el otro, la oportunidad, en cierta forma un sueño, de hacer gran cantidad de cosas útiles e importantes. Un elemento clave es que para ello se requiere tener un cierto grado

de libertad de acción y económica que nunca se tiene en la administración pública, lo que limita la toma de decisiones. El primer trauma, sin embargo, viene con la realización de que los objetivos académicos institucionales no parecen estar de acuerdo con los de las políticas administrativas; es necesario dedicar una cantidad enorme de tiempo a negociar y tramitar iniciativas que debieran darse libre y fácilmente dentro de límites razonables y reglas claras. El balance, pese a todo, es positivo. Los avances, aunque lentos, quedan a la vista. Algunas iniciativas tienen éxito, otras son irrelevantes y otras fracasan. Las primeras se convierten en la justificación del esfuerzo, las segundas caen en el olvido y las últimas nos siguen pesando y frustrando por años.



**Figura 5.-** Aunque hubo muchos cambios en el personal del CICY entre los años 90 y 98 estas fotos presentan a la mayoría de los más constantes que constituyeron el esqueleto de la institución durante ese periodo: a) el cuerpo directivo del CICY en 1994; b) el personal administrativo en 1995; c) el cuerpo académico en 1995.



Mencionar aquí a todos aquellos que colaboraron con la dirección y administración del CICY y al personal académico y de apoyo que colaboró durante este periodo es imposible. A todos ellos les expreso mi profundo agradecimiento. Ya mencioné a los directores, quienes compartieron decisiones y responsabilidades pero quiero agradecer de manera especial a algunas de las personas que colaboraron más cercanamente conmigo a lo largo de esos años: Víctor, Genny, Glenny, Wendy, Melisa, Laura, Reyna, Ligia, Pedro Fuentes (padre) y Leonardo Gus.



**Figura 6.-** Los grupos de investigación de las Divisiones de Biología Vegetal, Recursos Naturales y Materiales en 1996.

## Referencias

- Cruz, C., L. del Castillo, M. L. Robert y R. N. Ondarza (eds.). *Biología y Aprovechamiento Integral del Henequén y Otros Agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida, Yuc., México. 1985. 297 p.
- Robert, M. L. 1998. Centro de Investigación Científica de Yucatán en: *Historia de las Instituciones del Sistema SEP-Conacyt*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. pp. 111-143.
- Robert, M. L. y D. Zizumbo V. (comp.). 1990. *La problemática del amarillamiento letal del cocotero en México*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida. México.
- Robert, Manuel L. 1998. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. En: *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Historia de las Instituciones del Sistema SEP-Conacyt*. Carlos O'Farril Santibáñez (coord.). México. SEP-Conacyt. p. 111-143.



## El CICY en el período 1998-2008

*Alfonso Larqué Saavedra*

El término del milenio para un centro de investigación siempre representa la oportunidad de volver la vista atrás para conocer lo logrado y al mismo tiempo, proyectar su futuro. Es una gran oportunidad para compenetrarse en la vida de una institución y de sus integrantes para fomentar el fortalecimiento del planteamiento que le dio origen.

En 1988, un ejercicio de entrevistas personalizadas con cada investigador de las diferentes Unidades que conforman el CICY permitió aprender lo que se espera del Centro, las diferentes expectativas y visiones, y conocer, además, el potencial para planear su actividad sustantiva en el corto, mediano y largo plazos.

Las respuestas dieron pauta para estructurar un plan de acción que enmarcara los aspectos polarizados y los desbalances por un lado, así como las fortalezas y capacidades por otro.

Dentro del plan fue evidente tener que trabajar en:

1. Consolidar los cuerpos académicos;
2. consolidación y orientación de líneas de trabajo en investigación;
3. formación de recursos humanos;
4. espacio físico y equipamiento;
5. imagen institucional.

En el año 2000, el CICY se transforma por decreto en un Centro Público de Investigación, hecho que trae por consecuencia tener que establecer un convenio de desempeño académico, mismo que obligaba al Centro a cumplir con siete indicadores de su actividad sustantiva, dentro de los que resaltaban: la formación de recursos humanos, el número de publicaciones en revistas de reconocido prestigio, la membresía en el SNI, el financiamiento de proyectos con recursos externos, la transferencia de resultados, etc.

Para hacer el convenio de desempeño se realizó un taller con integrantes del Centro para elaborar el plan estratégico institucional del mismo. A partir de entonces, los resultados anuales alcanzados en los indicadores aprobados eran presentados al Órgano de Gobierno, quien emitía una calificación numérica del desempeño del Centro. El convenio en su origen estuvo firmado por la Secretaría de Hacienda, la Secretaría de la Contraloría, la Secretaría de Educación Pública, el Conacyt, y la Dirección General del CICY, y en principio obligaba a las partes a cumplir con financiamiento según los resultados alcanzados.

El espíritu de la creación de Centros Públicos de Investigación, así como del convenio de desempeño académico fue, por demás, importante para el ordenamiento de actividades del Centro, mismas que coincidían casi en su totalidad a la planeación hecha con base en las entrevistas personalizadas, y permitió al cabo de los años, establecer una plataforma bastante sólida y consolidada de profesores investigadores cuya membresía en el SNI era cercana al 90 por ciento. Al término de 2008 había técnicos, ingenieros e investigadores dentro del SNI, lo que daba la certeza de que en toda la planta académica existía calidad en el desempeño de sus actividades sustantivas.

### **La gobernanza del Centro**

Con el objeto de fortalecer la gobernanza de la institución, se puso especial atención al fortalecimiento y creación de cuerpos colegiados, de las comisiones y comités institucionales, lo que se convirtió en política permanente. Inicialmente se amplió el Consejo Técnico Consultivo Interno con la presencia, además de los directores de Unidad y de campus, de un representante de los investigadores, otro de los técnicos y uno más de los ingenieros, y quedó como invitado permanente el Director Administrativo. Este cuerpo colegiado mantuvo una intensa actividad elaborando los reglamentos institucionales necesarios para el funcionamiento del CICY. El modelo se fortaleció por la renovación de los titulares de las direcciones de las Unidades cada tres años, y de los representantes de académicos cada dos años.

En las unidades académicas sustantivas se instituyeron los Comités Académicos de Unidad, con el objeto de fortalecer el manejo interno de la vida académica dentro de las Unidades. Su

constitución de, mínimo, tres profesores hizo que un mayor número de docentes participara en la toma de decisiones

Todas las Unidades se vieron fortalecidas con la contratación de profesores investigadores, hasta llegar al número recomendado por los propios académicos y el Comité Externo de Evaluación. Dada la capacidad instalada, se consolidaron los grupos con alrededor de 18 profesores por Unidad. Todos los profesores al 2008 poseían el grado de doctor y ostentaban el grado de profesor investigador asociado, o profesor investigador titular del Centro.

Con el objeto de seguir la idea del fortalecimiento de los cuerpos académicos en áreas específicas del quehacer de cada Unidad, se definió una política para las nuevas contrataciones de profesores investigadores, que finalmente quedó debidamente reglamentada. Así, fue constituido un Comité de Admisión por Unidad que emitía la convocatoria correspondiente a nivel nacional, realizaba las entrevistas y hacía las recomendaciones al Consejo Técnico Consultivo Interno para su análisis y definición correspondiente.

De manera paralela, se establecieron las diferentes comisiones y comités para entender aspectos específicos de la vida institucional, que fue una tarea permanente en busca de una mejora continua para un buen gobierno institucional. Durante este periodo quedaron constituidas tres comisiones y nueve comités. Ocho fueron de perfil administrativo, tres académicos y uno académico-administrativo; en los que participaba personal de las diferentes áreas del CICY.

### **El fortalecimiento del ambiente académico como motor de cambio**

En un esfuerzo encomiable, los profesores agrupados por unidades lograron conjuntar sus esfuerzos y se definieron las líneas en las que cada Unidad pondría su énfasis. De esta forma, también se iniciaba un esfuerzo especial de trabajos de colaboración entre profesores dentro de las unidades. La consolidación de las líneas de investigación es un trabajo permanente, que considero han aceptado como forma de compromiso los profesores del Centro.

Independientemente de la definición de las líneas de investigación, se aprobaron tres grandes proyectos institucionales que desde los primeros meses de 1999 se anunciaron: *agaves, café y coco*. Los tres proyectos fueron transversales entre unidades del CICY. Los proyectos fueron financiados por la institución con di-

nero semilla por cinco años. La selección de los proyectos por cultivo fue una respuesta natural de las que se señalaba, eran las fortalezas que tenía el CICY. El modelo de liderazgo de cada proyecto se dejó en las manos de los participantes, quienes definirían al responsable titular, el periodo de su titularidad, así como la continuación del proyecto, y de ser exitoso, se consolidaría su financiamiento y continuidad.

Se impulsaron además dos proyectos de particular interés para el Centro, uno de base tecnológica y otro de perfil internacional, ambos con el apoyo del Conacyt. El primero se llamó ProPlanta, pretendía como biofábrica producir masivamente plántulas clonadas, para atender demandas de plantas elite para la agricultura mexicana. Después de siete años de operar, con base en un análisis de costo beneficio y la opinión de un comité interno de profesores-investigadores del Centro expertos en el tema, se decidió dar por concluida la biofábrica.



**Figura 1.** Visita del Subsecretario de Agricultura, Dr. Francisco Gurría, y del Gobernador Víctor Cervera Pacheco al CICY (1999) en la inauguración de ProPlanta.

El proyecto de perfil internacional fue llamado CIMBIOS, se estableció entre el CICY y Alemania, para fortalecer las actividades que en biotecnología desarrollaba el CICY. Fue un proyecto que se planteó recibiría financiamiento del Conacyt y de fuentes del gobierno alemán. El CICY preparó los espacios comprometidos, pero los recursos para despegar el proyecto por el lado alemán no prosperaron como se esperaba y finalmente sólo se llevaron a cabo reuniones conjuntas en las instalaciones del CICY, visitas de investigadores y un proyecto conjunto que financió la Unión Europea con guayaba.

Los proyectos transversales, la biofábrica y CIMBIOS, permitieron a la academia del CICY aprender numerosos aspectos para en el futuro plantear nuevos proyectos de gran visión y del que se

desprendió un conocimiento fundamental que fue el hecho de confiar en que el financiamiento de la ciencia siempre es factible conseguirlo en principio de las agencias mexicanas.

El trabajo para fomentar el ambiente académico de la institución se favoreció por la cruzada de consolidar la Sección Regional de la Academia Mexicana de Ciencias, que depositó en el CICY la presidencia de la misma por dos periodos consecutivos, dando lugar a que numerosos científicos de reconocido prestigio impartieran conferencias en el auditorio principal, que tuvo que reacondicionarse para albergar este tipo de eventos. En los últimos años, tres premios Nobel visitaron el CICY, impartieron conferencias y platicaron con los profesores y estudiantes, lo que dio pauta a sentir que en los corredores del CICY podría apreciarse la alegría de los hallazgos y avances que los estudiantes y profesores compartían con la comunidad académica.

### **La formación de recursos humanos**

El hecho de que el CICY fuera definido desde sus inicios como un Centro de Investigación y no de formación de recursos humanos fue uno de los retos más complejos de transformar. El naciente posgrado institucional y su participación por el profesorado se veía como una buena acción de ciertos investigadores que participaban en esta labor. La definición del Órgano de Gobierno de que el Centro se comprometiera con programas de posgrado fue un cambio fuerte en la actividad del mismo. En los casi 20 años de antigüedad del CICY, no existía la tradición de cátedras o cursos que dieran imagen al Centro. Esto obligó a realizar un esfuerzo especial sin precedente.

La actitud de los académicos para el naciente posgrado institucional no era un compromiso que fuera evidente y en él participaban investigadores con buena disposición. El posgrado existente sólo integraba, en el mejor de los casos, a investigadores de dos de las Unidades del CICY; de manera marginal integraba a una tercera parte del área biológica, y dejaba fuera a una Unidad. Dicho lo anterior, para 1998 sólo unos cuantos profesores tenían estudiantes del posgrado institucional, y una minoría concentraba casi 90 por ciento de ellos. Hubo hechos que favorecieron el cambio de actitud hacia el posgrado, principalmente el referente a la demanda del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de que sus miembros deberían, como requisito importante, formar recursos humanos.

La estrategia para apoyar la formación de postgraduados en la vida académica fue en dos vertientes. La Unidad que no tuviera posgrado debería formar un programa que avalara el Comité Externo de Evaluación y el Órgano de Gobierno. Así, la Unidad de Materiales, que contaba con 11 investigadores, todos miembros del SNI, planteó el establecimiento del Posgrado en Materiales Poliméricos, mismo que fue aprobado y desde 2002, ha logrado su consolidación, graduando estudiantes de maestría y doctorado. La segunda vertiente, y aprovechando los dictámenes del Conacyt respecto a su permanencia en el padrón de posgrados de este Consejo, revisó cuidadosamente el programa existente y se propiciaron cambios; entre otros, se modificó el nombre del posgrado para que se diera espacio de manera clara a la Unidad del área biológica que participaba, hasta entonces, de manera marginal. Con este antecedente, en 2007 se afianzó y consolidó un nuevo posgrado que integraba de manera amplia a todas las Unidades por igual y a todas las líneas de investigación. De esta forma, se cubrió una responsabilidad institucional de la mayor importancia. De manera independiente, y ante la importante demanda nacional, en el año 2008 quedó aprobado por el Órgano de Gobierno y por el Conacyt un posgrado más en Energía Renovable, que incorpora a profesores de todas las Unidades del CICY.



**Figura 2.** Presencia de los Directores Generales del CICY 1979-2008 en la Primera Ceremonia de Graduación del posgrado en el CICY: Dr. Luis del Castillo, Dr. Alfonso Larqué y Dr. Manuel Robert.

Con estos cambios, para el 2008 el CICY tenía sus posgrados dentro del padrón del Conacyt, y atendía a más de 100 estudiantes, lo que permitía hacer una estimación de una media de, por lo menos, dos estudiantes por profesor. A esta política también se planeó el ampliar las facilidades físicas para atender a los estudiantes, ya que la capacidad instalada de la institución para este propósito en el año 2008 era apenas suficiente.



### **Espacio físico y equipamiento**

De manera simultánea, era evidente que habría que ampliar las instalaciones existentes. Así, desde el principio se estableció un plan de crecimiento físico. Se ampliaron las instalaciones de todas las Unidades. Para el caso de la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas se construyó un nuevo edificio, diseñado en su totalidad por el cuerpo de profesores de la misma. A la Unidad de Recursos Naturales se le construyó un nuevo bloque anexo con un diseño definido también por sus académicos. La Unidad de Biotecnología integró una nueva área y se anexó un amplio espacio de los llamados laboratorios generales. La Unidad de Materiales también amplió sus instalaciones, anexando espacios que dejaron disponibles el área de servicios o apoyo académico, y la antigua sede de Biología Experimental. De esta forma, el espacio promedio por profesor es de aproximadamente 100 m<sup>2</sup>.



**Figura 3.** Ampliación del espacio físico del CICY. Demolición de la barda limítrofe (2003).



**Figura 4.** Acto inaugural del edificio de UBBMP (2003). Ing. Jaime Parada Ávila, Director General del Conacyt.

Otras tres ventanas permitieron al CICY ampliar su espacio físico: 1) se adquirió el espacio adyacente al CICY de casi 10000 m<sup>2</sup>; 2) el espacio del CICY en Quintana Roo, donado por el gobierno del Estado para conformar el campus Quintana Roo, creando el Centro para el Estudio del Agua (CEA), y 3) la ampliación de los invernaderos y sombreaderos para experimentos.



**Figura 5.** Testigos de honor: Dr. José Antonio de la Peña, Lic. Cecilia Loria, C. Gobernador de Quintana Roo, Lic. Joaquín Ernesto Hendricks, Ing. Felipe Rubio y Dr. Alfonso Larqué (2004).

Respecto a la instrumentación, se trabajó en un complejo modelo que consistió en que en los primeros años el recurso se daba a la Unidad, y esta definía la adquisición del equipo pertinente, y al final del periodo optó por la compra de instrumentos de gran alcance.

### Imagen institucional

Una actividad que se consideró fundamental fue vincular al CICY con el sector social a todos los niveles, con la finalidad de que se conocieran la existencia y las actividades que la institución desempeña. La planeación de esta cruzada fue hecha fundamentalmente

por la participación de destacados yucatecos que sabían de la actividad sustantiva del Centro. Dentro de esta política, primeramente se redefinió el logo del CICY, después se creó un medio de comunicación interno llamado *Hasnup'*, palabra maya que significa “encuentro”, para mantener informada a la Comunidad CICY, y se trabajó de manera permanente con la prensa local y nacional. Se realizó un sinnúmero de actividades en las que se abrieron las puertas a la sociedad yucateca y a la región. Así, por ejemplo, se



Firma del acta de establecimiento de la agrupación “Los Amigos del Jardín Botánico”

constituyó la agrupación “Amigos del Jardín Botánico” con personalidades del sector social yucateco que amablemente han apoyado de manera permanente actividades de nuestra institución.

**Figura 6**

Se estableció el área de Vinculación institucional que integró las áreas de servicio como Metrología, GeMBio, Microscopio Electrónico de Barrido y Jardín Botánico, lo cual sentó las bases para la generación de recursos propios de la institución.



**Figura 7.** El Sistema de Producción Continua de maíz en la prensa (2003).



**Figura 8.** Acto Inaugural del Laboratorio de GeMBio (2006).

Ampliación de la información de los avances del CICY durante este período se puede consultar en las publicaciones: *Informe de gestión 1998-2008*, *Normatividad*, *Los proyectos de Investigación del CICY* y *Publicaciones 1980-2007*.

# **La creación del Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas del CICY. Un punto de vista personal \***

*Victor M. Loyola Vargas*

## **Introducción**

Todo lo que cambia con el tiempo, tiene por definición, una historia —el universo, los países, las dinastías, el arte, la filosofía y las ideas—. La ciencia también ha experimentado un cambio y es así un sujeto legítimo para la historia (Mayr, 1982). Así, la Historia, con mayúscula, es una fuente inagotable de conocimiento y experiencias para el desarrollo de la sociedad. Preservar y analizar los hechos y las acciones de cómo hemos creado y desarrollado nuestras instituciones y sus programas es una tarea que debemos cumplir con esmero y dejarla como legado para los colegas y estudiantes que llegaron después o no participaron en ello. Esta es la tarea que me propongo desarrollar en las presentes reflexiones, antes de que el tiempo y las acciones borren la memoria de los que participamos en la creación del Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas. Es mi visión, como uno de sus protagonistas, y desde luego está narrada desde mi perspectiva.

## **El posgrado en el área biológica del CICY**

En el pasado, la universidad se inició con el reconocimiento de la clase estudiantil por el emperador Federico Barbarroja en el año 1158 en Boloña, y la creación de la Universidad por los eclesiásticos del medioevo en París. Con la promulgación por el Papa, de la Carta de la Sorbona en el año 1210, se inició una nueva forma de

---

\* Este documento es una versión modificada de un artículo publicado previamente en el Boletín de la Sociedad Mexicana de Química (Loyola-Vargas, 2007) con permiso de la Sociedad.

enseñanza (Rüegg, 1992). En la universidad medieval eran tres los grados que se otorgaban: bachiller, licenciado y doctor. El de bachiller habilitaba para el ejercicio profesional; el de licenciado abría las puertas de la docencia universitaria, y el de doctor suponía un complemento honorífico y pomposo del anterior (Rüegg, 1992).

Hoy en día, la mayoría de los centros de investigación del país se han quedado sólo con el otorgamiento del grado de doctor, en tanto que las universidades participan activamente en el otorgamiento de los tres grados.

En el acta constitutiva del CICY del 16 de noviembre del año 1979 se establece la posibilidad de otorgar grados académicos, así como el mandato para formar recursos humanos. Sin embargo, pasaron casi siete años para que el Centro iniciara un posgrado. No es difícil entender por qué. Para establecer un posgrado de excelencia se requiere de un cuerpo académico establecido y de líneas de investigación productivas, lo cual lleva tiempo. En esa época ya se tenía la experiencia de que algunos de los investigadores del Centro dirigían tesis de posgrado de estudiantes provenientes de otras instituciones. Además, por la falta de un posgrado, el Centro no estaba pudiendo atraer investigadores de alto nivel que terminaran de fortalecer sus líneas de investigación, y por otro lado, los investigadores no podían aspirar a alcanzar las categorías superiores establecidas en el Estatuto de la Institución por la falta de dirección de tesis de posgrado.

Ante esta situación, el Dr. Luis del Castillo Mora, director del CICY, y el Ing. José Canto Quintal, director en ese momento del Instituto Tecnológico de Mérida, conjuntamente con el Dr. Mario Dondé Castro, acordaron que ambas instituciones ofrecieran un programa de Posgrado en forma conjunta, de tal manera que las bases del posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas del Centro se sentaron el 29 de julio de 1985, cuando el CICY y el Instituto Tecnológico de Mérida formalizaron, con la firma de un convenio, la colaboración entre ambas instituciones. Mediante este convenio, el CICY participaría en el nuevo posgrado de Ciencias Biotecnológicas en el Instituto Tecnológico de Mérida, impartiendo la orientación de Procesos Vegetales.

La Maestría del nuevo posgrado fue aprobada en septiembre de 1985 por la Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación del Sistema de Institutos Tecnológicos. La dirección de la colaboración y el posgrado quedaron a cargo del Dr. Mario Dondé Castro, el primer Director Académico del CICY, quien se encontraba

laborando en el Centro desde febrero de 1983. Este posgrado se inició el 14 de febrero de 1986. La primera generación estuvo compuesta de 14 estudiantes: ocho de biotecnología vegetal y seis de biotecnología microbiana. Los miembros de la primera generación del Programa de Procesos Vegetales fueron: Miriam Monforte González, Gregorio Godoy Hernández, Lizbeth Castro Concha, Carlos Talavera May, Francisco Espadas y Gil, Carlos Castillo Pompeyo, Irma Trejo Canché y Luis Aldana Burgos.



**Figura 1.** Estudiantes de la primera generación del Posgrado de Procesos Biotecnológicos. Línea del frente de izquierda a derecha Ingrid Rodríguez Buenfil, Elizabeth Ortiz Vázquez, Elsy Tamayo Canal, Elvia Suárez Monteroso, Lizbeth Castro

Concha, Miriam Monforte González, Adriana Cauich Suaste. En línea posterior: Ligia Soberanis Tejero, Francisco Espadas y Gil, Luis Aldana Burgos, Carlos Talavera May, Jorge Tamayo Cortés, Carlos Castillo Pompeyo, Gregorio Godoy Hernández e Irma Trejo Canché. La estudiante Ligia Soberanis es una invitada.

La admisión al posgrado en Procesos Biotecnológicos se realizaba cada dos años. Durante la existencia de este posgrado, 25 de los estudiantes que ingresaron a la opción vegetal terminaron los créditos y 24 de ellos obtuvieron el grado. De estos estudiantes, 13 continuaron estudios de doctorado, unos en México y otros en el extranjero; ahora son investigadores en diversas instituciones del país. Entre ellos se encuentran los doctores Felipe Vázquez Flota, Gregorio Godoy Hernández, Luis Sáenz Carbonell, Ignacio Islas Flores, Oscar Moreno Valenzuela, Teresa del Rosario Ayora Talavera, Rolando Cardeña López, Melina López Meyer, Ignacio Maldonado Mendoza, Rosa María Escobedo Gracia-Medrano, Romualdo Ciau Uitz, Emeterio Payro de la Cruz y Javier Mijangos Cortés.

Los primeros graduados de este programa fueron la M.C. Lizbeth Arianelly Castro Concha y el Dr. Gregorio Godoy Hernández en mayo de 1989 con las tesis Estudio del metabolismo nitrogenado durante la vitrificación en plantas micropropagadas de

agave, y Obtención y cultivo de protoplastos de *Catharanthus roseus* L. (G.) Don y Escalamiento de cultivos celulares a nivel de fermentador, respectivamente, dirigidas por el autor de estas líneas. En los años 1990 y 1991 se publicaron los primeros artículos realizados por los estudiantes de este posgrado.<sup>1</sup>

Siete años después, la División de Biología Vegetal había alcanzado una importante madurez en sus cuadros de investigadores y en sus líneas de investigación. Esta solidez permitió, en 1993, que le propusiera al entonces director de nuestro Centro, el Dr. Manuel Robert Díaz, que el Centro ofreciera un doctorado directo en el área de la Biotecnología (Fig. 2).

Mérida, Yuc., a 13 de septiembre de 1993.

A LOS MIEMBROS DEL  
ORGANO DE GOBIERNO DEL CICY  
P R E S E N T E

Deseamos manifestar ante la máxima autoridad del Centro, nuestro beneplácito por la propuesta del plan de estudios de doctorado que nos ha sido presentado. Estamos convencidos de que esta iniciativa dará más rigor e importancia a la institución, al incorporarla de lleno al proceso de formación de recursos humanos de la más alta calidad, comprometidos con nuestro desarrollo científico y tecnológico.

Después de un análisis minucioso del plan de estudios, hemos sugerido diversos puntos que podrán dar una mayor solidez a la propuesta, de acuerdo con nuestra experiencia. No nos cabe duda de otorgar un fuerte apoyo al Centro para que logre llevar el plan de estudios a su pronta operación.

Atentamente,  
Consejeros Técnicos  
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.

Dr. Alejandro Blanco Labra

Dr. Sergio Guevara Sada

Dr. Jorge Vázquez Ramos

Dra. Rosalinda Contreras

Dr. Andoni Garritz Ruiz

Dr. Alfonso Larqué Saavedra

Dr. Neftalí Ochoa Alejo

Dra. Mayra de la Torre

**Figura 2.** Acta firmada por el Consejo Técnico aprobando la creación del Posgrado en Cien-

<sup>1</sup> Castro-Concha, L., V. M. Loyola-Vargas, J. L. Chan and M. L. Robert. 1990. Gutamate dehydrogenase activity in normal and vitrified plants of *Agave tequilana* Weber propagated *in vitro*, Plant Cell Tiss. Org. Cult., 22: 147-151.

Godoy-Hernández, G. and V. M. Loyola-Vargas. 1991. Effect of fungal homogenate, enzyme inhibitors and osmotic stress on alkaloid content of *Catharanthus roseus* cell suspension cultures, Plant Cell Rep., 10: 537-540.



cias y Biotecnología de Plantas.

No fue una tarea sencilla convencer a todos los profesores-investigadores de participar. Al igual que hoy en día, algunos pensaban que no era nuestra tarea dar clases y adquirir todas las obligaciones que conlleva la responsabilidad de un posgrado. Sin embargo, después de varios meses de reuniones y análisis con los investigadores de la División de Biología Vegetal, en septiembre 13 de 1993, el Consejo Técnico y algunos invitados especiales, entre los que se encontraban los Drs. Alejandro Blanco Labra, Andoni Garritz Ruiz, Alfonso Larqué Saavedra, Sergio Guevara Sada, Jorge Vázquez Ramos, Neftalí Ochoa Alejo, Rosalinda Contreras y Mayra de la Torre, y después de una serie de sugerencias, entre ellas el cambio del nombre propuesto inicialmente de Doctorado en Biotecnología Vegetal, aprobaron el Programa en Ciencias y Biotecnología de Plantas. Este programa contaba con la posibilidad de ingresar al doctorado después de la maestría o directamente después de la licenciatura.

Se propuso el cambio de nombre para hacerlo más atractivo, ya que se pensó que el de Biotecnología Vegetal era limitativo. El otro aspecto que se discutió de forma importante fue el hecho de que se proponía un posgrado sin maestría y además con ingreso directo de la licenciatura, sin necesidad de cursar la maestría. En el año 1994 prácticamente no había ningún doctorado directo en México. El nuestro fue de los primeros en ofrecer dicha alternativa.

Días más tarde, el 11 de octubre de 1993, el Consejo Directivo del Centro aprobó el primer programa de posgrado del CICY con el nombre de Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas y fui nombrado su primer coordinador. Inmediatamente me di a la tarea de someterlo a evaluación en la convocatoria del Padrón de Excelencia del Conacyt. El Programa fue aprobado como programa emergente por el Conacyt y recibió su primer apoyo económico. Para entonces, la División de Biología Vegetal tenía 13 investigadores con doctorado: Manuel Robert Díaz, Roger Orellana Lanza, Carlos Oropeza Salín, Víctor M. Loyola Vargas, María de Lourdes Miranda Ham, Luis M. Peña Rodríguez, Jorge Santamaría Fernández, Rafael Durán García, Ingrid Olmsted, Jesús Quiroz Mora, Ana María Baíza Martínez, Isidro Castorena Sánchez y Teresa Hernández Sotomayor.

También se iniciaron de inmediato los trámites para registrar el Programa en la Secretaría de Educación Pública. Si bien, el Centro estaba autorizado a otorgar grados académicos, se decidió

que tener la supervisión de la SEP le daría un mejor respaldo a nuestro programa de posgrado. Este registro se obtuvo el 28 de octubre de 1997 tanto para el doctorado como para la maestría.

El día 10 de febrero de 1994 se constituyó formalmente el Colegio de Profesores del Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas. A esta reunión asistieron 10 de los investigadores con doctorado de la División de Biología Vegetal. Los días 14 y 15 de marzo del mismo año, se llevó a cabo el primer examen de admisión; en él participaron los doctores Marcelino Cerejido (Cinvestav-México), Antonio Peña Díaz (Instituto de Fisiología Celular, UNAM), Teresa Hernández Sotomayor, Manuel Robert Díaz y el autor. De los trece estudiantes que presentaron el examen de admisión, fueron admitidos once: Blondy Canto Canché, Rolando Cardaña López, Mauricio De la Puente Martínez de Castro, César De los Santos Briones, José Luis Giorgana Figueroa, Oscar Moreno Valenzuela, Sara Luz Nahuat Dzib, Luis Carlos Rodríguez Zapata, Luis Alfonso Sáenz Carbonell y Víctor Suárez Solís (Fig. 3). La estudiante Patricia Sánchez Iturbe inició sus estudios en el siguiente semestre.



**Figura 3.** Primera generación de estudiantes del Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas. De izquierda a derecha al frente: Rolando Cardaña López, Blondy Canto Canché,

Victor Suárez Solís, Mauricio De la Puente Martínez de Castro. En la parte de atrás Oscar Moreno Valenzuela, Luis Alfonso Sáenz Carbonell, César De los Santos Briones y Luis Carlos Rodríguez Zapata. No están presentes en la fotografía José Luis Giorgana Figueroa y Sara Luz Nahuat Dzib.

La inauguración y el inicio de cursos del nuevo posgrado se llevaron a cabo el lunes 4 de abril. Para dicha ocasión se invitó al Dr. Rodolfo Quintero Ramírez para impartir la plática inaugural (Fig. 4).



**Figura 4.** Presídium de la inauguración del posgrado el 4 de abril de 1994. De izquierda a derecha: Víctor M. Loyola Vargas (coordinador del posgrado), el representante del gobierno estatal, Manuel Robert Díaz (director del CICY), Felipe Ahumada Vasconcelos (delegado regional del Conacyt) y Rodolfo Quintero Ramírez (conferencista invitado).

Nuestro programa de posgrado se inició con varias características, algunas de las cuales se están perdiendo desafortunadamente: una de las más importantes es el carácter tutorial de la enseñanza. Más del 70 por ciento de los créditos se obtienen por el trabajo de investigación, se cuenta con un comité tutorial integrado por tres investigadores, uno de los cuales debe ser externo al CICY y otra característica muy importante es la obligación de tener por lo menos un artículo aceptado para obtener el grado de doctor. En 1994 muy pocos posgrados contaban con las dos últimas características.

En el año 1995, al cierre de la opción en Procesos Vegetales en la maestría de Procesos Biotecnológicos del Instituto Tecnológico de Mérida, y con base en la demanda por estudios de maestría en el área de la Biotecnología, se decidió incorporar la opción de maestría al programa de posgrado en la sesión XII del Consejo Académico del día uno de agosto de 1995; la decisión se tomó por votación de 7 a 6. A pesar de que habíamos estado colaborando con el Instituto Tecnológico de Mérida en la maestría, casi la mitad de los investigadores de la División de Biología no estaban convencidos de que debiéramos tener una maestría propia.

Al mismo tiempo y ante la consolidación del grupo de investigadores del área de Recursos Naturales, el programa de doctorado se dividió en tres opciones: Biología Experimental, Biotecnología Vegetal y Ecología. Estas modificaciones fueron aprobadas por nuestro Consejo Técnico el 5 de septiembre de 1995, y el 28 del mismo mes las aprobó el Consejo Directivo de la Institución.

La primera generación de estudiantes que escogieron la opción de Recursos Naturales fueron: Luis Manuel Arias Reyes, Celene Marisol Espadas Manrique, José Antonio González Iturbe-Ahumada, Martha Méndez González y Demetria Mondragón Charro (Fig. 5).



**Figura 5.** Primera generación de estudiantes del Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, opción de Ecología. De izquierda a derecha Luis Manuel Arias Reyes, Martha

Méndez González, Celene Marisol Espadas Manrique, Demetria Mondragón Charro y José Antonio González Iturbe-Ahumada.

La primera generación de la maestría en Ciencia y Biotecnología de Plantas estuvo formada por 7 estudiantes e inició sus estudios en abril del año 1996; ellos fueron: Margarita Aguilar Espinosa, Iván Isidro Córdova Lara, Manuel Jesús Chan Bacab, Mauro Gómez Juárez, Elizabetha Juárez Hernández, Sergio Martínez Aguirre y Mario Puch Ceh (Fig. 6).



**Figura 6.** Primera generación de estudiantes de la Maestría en Ciencias y Biotecnología de Plantas. De izquierda a derecha Manuel Jesús Chan Bacab, Mario Puch Ceh, Margarita

Aguilar Espinosa, Iván Isidro Córdova Lara, Mauro Gómez Juárez, Elizabetha Juárez Hernández y Sergio Martínez Aguirre.

El 24 de abril de 1998 el Dr. Luis Carlos Rodríguez Zapata fue el primer estudiante que obtuvo el título de doctor con la tesis: Fosforilación de proteínas en residuos de tirosina en raíces transformadas de *Catharanthus roseus* (L.) G. Don., dirigida por la Dra. Teresa Hernández Sotomayor. En el año 1998 también se publica-

ron los primeros artículos firmados por estudiantes del Programa de Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas.<sup>2</sup>



El primer estudiante que obtuvo el título de maestro en ciencias fue el M.C. Iván Córdova Lara, el 11 de abril del año 2000, con la tesis: Estudio sobre la distribución intraplanta y dispersión del amarillamiento letal en el cocotero mediante el uso de la reacción en cadena de la polimerasa, dirigida por el Dr. Carlos Oropeza Salín (Fig. 7).

**Figura 7.** Portada de la primera tesis de maestría presentada en el Centro.

Ante la consolidación de los programas de posgrado y la presencia de un importante número de estudiantes de posgrados de otras instituciones, el Centro solicitó su ingreso a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). Esta asociación aprobó el ingreso del CICY a su seno en el año 2001.

- <sup>2</sup> Rodríguez-Zapata L. C., S.M. Teresa Hernández-Sotomayor, Evidence of protein-tyrosine kinase activity in *Catharanthus roseus* roots transformed by *Agrobacterium rhizogenes*, *Planta* 204: 70 – 77,(1998)
- Islas-Flores I., C. Oropeza, and S. M. T. Hernández-Sotomayor, Protein phosphorylation during coconut zygotic embryo development, *Plant Physiol.* , 118: 257–263, (1998).
- Rodríguez-Zapata L. C., S. M. T. Hernández-Sotomayor, Detection of tyrosine phosphatase activity in *Catharanthus roseus* hairy roots, *Plant Physiol. Biochem.*, 36: 731 – 735, (1980).
- Cardeña R., C. Oropeza and D. Zizumbo-Villarreal, Leaf proteins as markers useful in the genetic improvement of coconut palms, *Euphytica*, 102: 81-86, (1998).
- Chan-Rodríguez J., L. A. Sáenz, C. Talavera, R. Hornung, M. L. Robert and C. Oropeza, Regeneration of coconut (*Cocos nucifera* L.) From plumule explants through somatic embryogenesis, *Plant Cell Reports*, 17: 515-521, (1998).
- Moreno-Valenzuela O. A., R. M. Galaz-Avalos, Y. Minero-García and V. M. Loyola-Vargas, Effect of differentiation on the regulation of indole alkaloid production in *Catharanthus roseus* hairy roots, *Plant Cell Reports*, 18: 99-104, (1998).

En febrero del año 1997 el Dr. Rafael Durán García, investigador de la Unidad de Recursos Naturales, fue nombrado coordinador del posgrado. En febrero del año 2000 el Dr. Armando Escamilla Bencomo sustituyó al Dr. Durán como coordinador. En febrero del año 2001 el Dr. Escamilla renunció a su puesto como coordinador del posgrado y en su lugar fue nombrado el Dr. Felipe Vázquez Flota. El último coordinador de la primera etapa del posgrado fue el Dr. Luis Manuel Peña Rodríguez, quien fue nombrado en noviembre del año 2004.

Nuestro posgrado se había caracterizado y diferenciado de otros en diversos aspectos, entre los que cabe destacar el número y calidad de los profesores invitados a los comités tutorales y exámenes de grado, así como en la calidad de las tesis, no sólo en su contenido, sino también en su impresión. Los profesores invitados provienen de prácticamente todas las instituciones en las que se realizan tareas afines a las de nuestro posgrado.

Otra importante actividad que realizan los estudiantes de posgrado es la de reunirse cada año en un congreso en el que presentan el avance de sus trabajos de investigación. Esta actividad que se inició al interior del Centro ha ido creciendo: actualmente también participan en ella estudiantes de los Institutos Tecnológicos de Mérida y Agropecuario de Conkal. Durante dicho evento se premia al mejor trabajo de maestría y al mejor trabajo de doctorado. El jurado lo forman investigadores de estas tres instituciones.

Al inicio del programa se premiaba a los mejores estudiantes del posgrado. Se otorgaba un premio al mejor promedio de la generación, y como ya se mencionó, al estudiante que presentara el mejor cartel. Esta práctica es una actividad que deberíamos retomar y estimular.

El 5 de noviembre del año 1999, durante la celebración del XX aniversario de la fundación del CICY, y a cinco años de que se iniciaron los cursos del posgrado, se efectuó la primera ceremonia de graduación de los egresados de los programas de posgrado del Centro. El 24 de junio del año 2002 se llevó a cabo una segunda ceremonia de graduación. Estas ceremonias están llenas de simbolismo y tienen su origen en la universidad del medioevo. En la Universidad de Salamanca, por ejemplo, la ceremonia de graduación se celebraba en el crucero de la iglesia, tras argumentos y discursos del pretendiente, padrino, rector y maestrescuela, se le otorgaban las insignias (birrete, anillo, libro...) (Rüegg, 1992).

Nuestros posgrados, desde la maestría en colaboración con el Instituto Tecnológico de Mérida y la maestría y el doctorado en Ciencia y Biotecnología de Plantas, habían estado siempre en el padrón de posgrados de excelencia del Conacyt. En el año 2002 nuestro posgrado fue admitido en el Programa Institucional de Fomento al Posgrado (PIFOP) con el compromiso de que la maestría alcanzaría los parámetros de excelencia necesarios para aspirar a pertenecer al Programa Nacional de Posgrado en el año 2005 y el doctorado en el año 2006. Al no alcanzarse estos compromisos nuestros programas salieron del padrón del Conacyt. Un año más tarde volvieron a estar registrados como programas de excelencia.

### **Final**

Quince años es un tiempo razonable para hacer un balance de lo logrado y de lo que falta por hacer. Los estudiantes ya graduados alcanzan ya un número importante como para realizar una encuesta sobre la formación que recibieron. Saber que tan útil les está siendo en su trabajo actual, cómo ven a su posgrado después de que lo concluyeron, en qué medida llenó sus expectativas; éstas serían sólo algunas de las preguntas que permitirían llevar a cabo un análisis para seguir mejorando el programa que se ofrece.

Hoy en día aún participan en el programa de posgrado del Centro 5 de los investigadores que firmaron la primera acta del Consejo Académico, ellos también podrían ser una fuente de información y retroalimentación muy importante. Pero también, desde luego, la experiencia de todos los demás doctores que se han incorporado al programa.

La mera existencia de un posgrado de calidad indica que se han hecho bien las cosas. Sin embargo, es importante reconocer que también se han cometido errores. En este rubro existen diversos aspectos que debemos corregir. Los más importantes son: el excesivo tiempo que tardamos en que los estudiantes se gradúen, este parámetro es uno de los criterios más rigurosos con los que son evaluados los programas de posgrado por diversas instancias, los egresados de las generaciones más recientes ya están más cerca de los tiempos que nosotros mismos hemos fijado, pero aún falta trabajo por hacer en este rubro; el seminario de estudiantes ha mejorado notablemente bajo la coordinación de sus diferentes coordinadores, sin embargo, aún no se puede contrarrestar la apatía con la que toman la mayoría de los investigadores su parti-

cipación en él, se requiere que todos los actores del programa participemos activamente. Últimamente hemos eliminado el requisito del artículo para optar por el grado de doctor, este es un requisito para seguir siendo un programa de excelencia. No terminados de decidir si tenemos un programa de posgrado o tres en el área biológica, cuando claramente tenemos tres.

Recientemente, y con el pretexto de la falta de presupuesto, hemos limitado la participación de los profesores invitados. Las autoridades del Centro han tomado exactamente el mismo camino del que nos quejamos de las autoridades federales: el más fácil. No se plantearon la pregunta correcta. En realidad deberíamos preguntarnos si la presencia de profesores invitados hace mejor a nuestro posgrado. Si la respuesta es no, se suprime su participación sin importar si hay recursos, pero si la respuesta es sí, entonces deberíamos buscar la forma de obtener los medios económicos para su participación. En este caso deberíamos también propiciar que los profesores invitados participen más activamente en la formación de nuestros estudiantes.

Otro rubro de la formación de nuestros estudiantes que deberemos fomentar es su participación en congresos, cursos y estancias de investigación fuera del Centro. Algunos de nuestros egresados lo han hecho activamente, y seguramente es una experiencia que deberíamos extender a todos los estudiantes del programa.

En relación con el futuro de nuestros egresados hay dos preguntas fundamentales que debemos hacernos, particularmente a la luz del escenario actual de contrataciones en los sectores público y privado: ¿Cuál es el perfil de los investigadores que se requerirán en los próximos años? ¿Dónde van a trabajar estos nuevos investigadores? Hasta ahora nuestros posgrados forman nuevos investigadores para la academia, pero no lo están haciendo para la industria; a esta última le pedimos que participe en la investigación y que se relacione con los Centros de investigación y las Universidades, pero no le hemos ayudado a formar a los interlocutores que se requieren.

Será fundamental que nuestros posgrados consideren en sus programas la formación de investigadores o maestros que se orienten a trabajar para la industria, así como la presencia en las currícula de materias como bioética, bioseguridad, legislación y propiedad intelectual. Para ello será crucial que involucremos a todos los actores en la construcción de los nuevos programas de posgrado.



Por otro lado, los posgrados de corte académico que miren hacia el futuro deberán ser mucho más flexibles de lo que son ahora. Por ejemplo, el alumno deberá poder escoger las materias, que junto con su investigación le permitirán una formación más integral y no tan rígida como la que tiene actualmente. Debemos inculcar en nuestros estudiantes el criterio de que la generación del conocimiento y el desarrollo de tecnología, son los aspectos centrales de su desarrollo, y no el número de publicaciones. Para ello deberemos hacer una profunda reflexión sobre nuestros sistemas de evaluación. Se están dando algunos pasos en esa dirección, y deberemos ahondar en ella.

En suma, durante los pasados años una pequeña idea se ha convertido, hoy en día, en parte fundamental del desarrollo de nuestra Institución. Debemos desarrollarla a plenitud. Expandir nuestra oferta de formación de investigadores, convenir con la industria y llevar a cabo la formación de sus cuadros de investigadores. Aprovechar la naturaleza única de la investigación que se realiza en el CICY. Pero sobre todo refrendar el compromiso que un pequeño grupo de profesores-investigadores hizo hace quince años: lograr que nuestros estudiantes sean mejores profesores-investigadores que lo que somos nosotros. Ellos harán del CICY un mejor centro de investigación e impulsarán el desarrollo científico que tanto necesita el país.

### **Referencias**

- Loyola-Vargas, V. M. 2007. Reflexiones sobre la historia de la creación del Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas del CICY. Boletín de la Sociedad Química de México. 1: 59-66.
- Mayr, E. 1982. *The Growth of Biological Thought. Diversity, Evolution, and Inheritance.* Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge. 974 p.
- Rüegg, W. 1992. *A history of the university in Europe.* Cambridge University Press, Gran Bretaña. 506 p.

### **Agradecimientos**

El autor agradece al Dr. Mario Dondé Castro haber traído a su atención algunos hechos en los que el autor no participó. Algunas de las fotografías fueron tomadas por el autor y otras son de la Fototeca del Centro, a cargo del área de Enlace Institucional.



## **El Posgrado en el CICY (periodo 2003-2009)**

*Pedro J. Herrera Franco*

Después de nueve años de iniciar formalmente con su programa de Posgrado, y de esta manera, cumplir con uno de los objetivos primordiales del Centro: la formación de recursos humanos, con un nuevo entorno regional y nacional, a principios del año 2003 el Posgrado en el CICY enfrentaba retos importantísimos. Por su incorporación al Programa Integral para el Fortalecimiento del Posgrado (PIFOP) en el año 2002, en el marco del Programa de Fortalecimiento del Posgrado Nacional (PFPN), el más importante era lograr la consolidación y fortalecimiento de las actividades de Posgrado en los cuatro programas a nivel de maestría y doctorado del programa de Ciencias y Biotecnología de Plantas, coordinado por el Dr. Felipe A. Vázquez Flota, y del de Materiales Poliméricos, coordinado por el Dr. Gonzalo Canché Escamilla. Entre aquellos aspectos más importantes que debían atenderse se tenían: la reducción de los tiempos de graduación, mejorar la eficiencia terminal y lograr el crecimiento de la matrícula de estudiantes. Ahora que el CICY cumple 30 años de haberse fundado, se hace propicio un recuento del estado y logros de las actividades del Posgrado en el periodo de julio 2003 a junio de 2009.

### **Los profesores del posgrado**

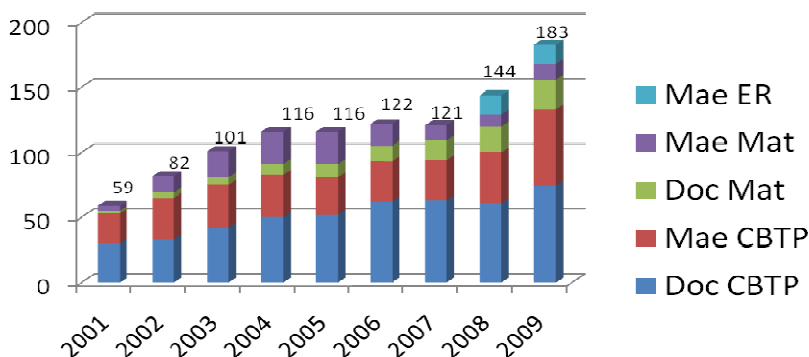
A principios del año 2003, el Centro contaba con 55 profesores-investigadores. De éstos, 54 formaban la planta docente de los programas de Posgrado: 41 de ellos en el Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas (CBTP) y los demás en la Unidad de Materiales. Asimismo, tres profesores-investigadores se encontraban completando su formación académica en programas doctorales. La membresía de los profesores del programa de CBTP y los del programa de Materiales Poliméricos en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

Los profesores estaban involucrados en los programas mediante diferentes actividades tales como la impartición de cursos, la dirección de tesis y la participación en comités tutorales y/o en jurados de tesis.

A principios del año 2009, la planta de profesores-investigadores de nuestro Centro ha incrementado a un total de 72, siendo 56 de ellos miembros del SNI (78.9%).

### **La matrícula de estudiantes en los Programas de Posgrado**

Durante el primer semestre del año 2003 la matrícula de estudiantes inscritos en el posgrado del CICY alcanzó la cifra de 89 estudiantes y 25 estudiantes participaron en el curso propedéutico de verano del Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas. Es importante destacar que en los cuatro programas de Posgrado del Centro la matrícula de estudiantes mostraba un incremento en los últimos años, y que se incrementaba la proporción de estudiantes de doctorado con relación a los de maestría. Sin embargo, los retos principales eran todavía la promoción de los programas, y en segundo lugar, incrementar la tasa de graduación de estudiantes. Con el ingreso de un total de 11 nuevos estudiantes (6 de doctorado y 5 de maestría) en el primer semestre del año 2003, el *Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas* contó ya con 67 estudiantes en activo, 35 en el doctorado y 32 en la maestría. De igual manera, en el Posgrado en Materiales Poliméricos, se admitió a cinco nuevos estudiantes en el programa de maestría. Con esta cifra, la matrícula del Posgrado en Materiales alcanzó la cifra de 22 estudiantes, de los cuales, cuatro pertenecían al Programa de Doctorado y 18 al de Maestría. En la figura 1 se muestra el crecimiento del número de estudiantes matriculados en nuestros programas de posgrado. En un sexenio, la población de estudiantes graduados prácticamente creció un 80 por ciento.



**Figura 1.** Crecimiento de la matrícula de estudiantes de los programas de posgrado del CICY durante el periodo 2001-2009.

### **Consolidación de los programas de posgrado del CICY en el PIFOP y el PNP**

El ingreso de los cuatro programas de Posgrado en el PIFOP el año 2002 marcó una serie de retos para el Centro. Cabe mencionar que los más importantes fueron aquellos relacionados con la eficiencia terminal, los tiempos de graduación en los distintos niveles, así como el crecimiento de la matrícula de estudiantes. En el año 2004, la planta académica de los Posgrados del CICY, todos con el grado de doctor, dedicados de tiempo completo a la investigación y la docencia, y con un 75 por ciento de ellos como miembros del SNI indicaba la alta calidad de nuestros profesores y algunos, incluso, con reconocimiento académico tanto a nivel nacional como internacional. Asimismo, el programa de Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas ya contaba con un total de 93 alumnos activos en cursos y trabajo experimental. De éstos, 56 en el nivel de doctorado y los restantes 37 de maestría. El programa de Posgrado en Materiales Poliméricos tenía un total de 29 alumnos en cursos y trabajo experimental; de éstos, siete eran de doctorado y 22 de maestría.

Durante el periodo 2002-2004, la Coordinación de los programas y la Dirección se habían abocado a responder a las recomendaciones realizadas por instancias de evaluación externa. Durante el período abril 2002-marzo 2004, diez alumnos habían obtenido el grado de maestría, incluyendo a aquellos activos que

están dentro de los tiempos esperados y aquellos que estaban rezagados. El esfuerzo de la Coordinación del programa de Posgrado se había centrado en el establecimiento de acciones que permitieran abatir el rezago que se tenía en la obtención del grado, y que al mismo tiempo permitiera mantener una tasa de graduación constante. El tiempo promedio de graduación del programa de doctorado típicamente era de 63 meses. El tiempo más corto de graduación había sido de 51 meses en dos casos solamente (de un total de 12). El tiempo promedio para la graduación en el programa de maestría era de 43 meses; sin embargo, cuatro estudiantes habían logrado graduarse dentro de los términos establecidos por el PIFOP, y a partir de la sexta generación de la maestría que ingresó en el año 2001, un 75 por ciento de los estudiantes tenía un tiempo promedio de graduación de 28.3 meses. En la séptima generación ingresaron ocho alumnos y de éstos, tres se han graduado en un período de 27 meses como promedio. En el caso del doctorado, se tenían todavía estudiantes rezagados. Aun cuando esto representaba un incremento considerable en la eficiencia terminal de nuestro programa de Posgrado, todavía era necesario realizar esfuerzos adicionales para lograr las cifras mencionadas en los indicadores del PNP, de 36 meses para la maestría y de 54 meses para el doctorado.

En el año 2004, el CICY realizó un esfuerzo considerable para atender presupuestalmente la operación del Posgrado. Así, la biblioteca logró incrementar su acervo a más de seis mil libros, de los cuales, aproximadamente cinco mil se relacionan con las tres opciones del programa. La incorporación del Centro a la Red de Bibliotecas de la Educación Superior e Investigación, Sur-Sureste de la ANUIES permitió ampliar considerablemente la disponibilidad de recursos de información. Asimismo, con el enlace a Internet 2 y el equipo de videoconferencia, el Centro formaba ya parte de la Red de Videoconferencias, integrada por los 27 Centros que conforman El Sistema de Centros Públicos Conacyt.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados para satisfacer los parámetros de calidad, el día 2 de diciembre de 2004 se recibió un comunicado por parte del Conacyt en el que se informó que fueron tres los programas aprobados para su permanencia en el PIFOP en el marco del PFPN: Doctorado en Materiales Poliméricos, Maestría en Materiales Poliméricos y Maestría en Ciencias y Biotecnología de Plantas. Aunque la Dirección General del Centro el día 12 de enero de 2005 sometió una solicitud de reconsidera-

ción de la evaluación del Conacyt al Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, no fue sino hasta un semestre posterior cuando, después de realizar un esfuerzo considerable por parte de la Coordinación del programa en Ciencias y Biotecnología de Plantas y de la Dirección Académica, se admitió en el PFPN el ingreso del programa de doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas.

Posteriormente, con la Convocatoria 2006 del Programa para el Fortalecimiento del Posgrado Nacional, los cuatro programas de Centro solicitaron admisión. El 15 de mayo de 2006 se recibió el dictamen de los resultados de la evaluación de los programas postulados para su registro en el Padrón Nacional de Posgrado (PNP) como sigue: el Doctorado en Materiales Poliméricos y la Maestría en Materiales Poliméricos, ambos aprobados, con la categoría de Alto nivel; el Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, No aprobado, y la Maestría en Ciencias y Biotecnología de Plantas, sujeta a una segunda evaluación de pares. El día 18 de agosto de 2006 se recibió respuesta a la solicitud presentada por el Centro en el marco de la Convocatoria 2006 del PFPN y se registró en el PNP a la Maestría en Ciencias y Biotecnología de Plantas con un dictamen de Alto Nivel. Posteriormente, como resultado de la réplica y la solicitud de revisión que se hiciera a la admisión del Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, el día 22 de agosto de 2006, este doctorado fue aprobado con la categoría de Alto Nivel. De esta manera, los cuatro programas se incorporaron al PNP por un periodo de cinco años.

Como resultado de la planeación estratégica del CICY, se estableció el Programa Institucional de Bioenergía con aprobación del Órgano de Gobierno. Este programa de investigación multidisciplinario y con participación de investigadores de diferentes Unidades atiende temas de interés, como aquellos relacionados a la materia prima y procesos de producción de biocombustibles (principalmente biodiesel, bioetanol, biohidrógeno) y a la generación eléctrica en celdas de combustible (específicamente celdas PEM y celdas microbianas). El día 11 de enero de 2008 se publicó la aceptación de la Maestría en Energía Renovable en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad, PNPC 2007, con la categoría de Programa de Nueva Creación bajo la coordinación de la Dra. Mascha Afra Smit. Su planta académica está integrada por investigadores de las cinco Unidades del CICY: Unidad de Materiales, Mascha Smit (Coordinadora del Programa), Liliana Alzate Gaviria, Felipe Barahona Pérez; Unidad de Biotecnología: Blondy Canto Can-

ché, Virginia Herrera Valencia; Unidad de Recursos Naturales: Roger Orellana Lanza, Javier Mijangos Cortés; Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas: Enrique Castaño de la Serna; Metrología: Donny Ponce Marbán, y del Centro Para el Estudio del Agua, Galdy Hernández Zárate.

### **Ceremonia de Graduación 2007 (generación 2005 a 2007)**

El 7 de diciembre de 2007 fue un día especial para los programas de Posgrado del CICY, pues se realizó la tercera Ceremonia de Graduación de los Posgrados en Ciencias y Biotecnología de Plantas y Materiales Poliméricos, evento en el que un grupo de jóvenes con una gran determinación se graduaron, culminando así una etapa de su vida profesional. Ésta fue una ceremonia solemne, presidida por la C. Gobernadora del Estado de Yucatán, Ivonne Ortega Pacheco; el Mtro. Juan Carlos Romero Hicks, Director General del Conacyt, el Dr. Raúl Godoy Montañez, Secretario de Educación del Gobierno del Estado, y otros dignatarios. En esta ceremonia se graduaron 25 estudiantes del programa de maestría y 18 del programa de doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, 21 del Programa de maestría y tres del programa de doctorado en Materiales Poliméricos.



**Figura 2.** Ceremonia de graduación de los egresados de los programas de Ciencias y Biotecnología de Plantas y Materiales Poliméricos: a) Los graduados; b) *Presidium* de Honor.



### **Cambio de nombre de los programas de posgrado del CICY inscritos en el PNP**

El CICY inició el Programa de maestría y de doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas en el año de 1994 con tres opciones académicas: Biología Experimental, Biotecnología Vegetal y Ecología, Sistemática y Evolución. Asimismo, la Unidad de Materiales inició en el año 2001 los programas de maestría y doctorado en Materiales Poliméricos. Estos programas respondían a los requerimientos de posgrados en las áreas de Biología Experimental, Biotecnología Vegetal y Ecología Vegetal y en la Ciencia de los polímeros en la región sureste de México. Después de un cuidadoso análisis de nuestros programas de Posgrado, de su situación en el entorno regional, nacional e internacional, se consideró necesario revisar su nombre de manera que permitiese al Centro continuar como una opción atractiva, dinámica y actual en la formación de recursos humanos para los egresados de las distintas universidades e institutos. Se consideró que el nombre actual del Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas ya no describía de manera precisa el enfoque del mismo; esto, especialmente en el caso de aquellos profesionales interesados en ingresar a la opción de Ecología Vegetal ofrecida por la Unidad de Recursos Naturales, que ya tenía un ritmo de crecimiento y consolidación sostenido. Esta falta de precisión causaba que los aspirantes que aún no habían definido su vocación, no la consideraran entre sus opciones. Se propuso que el Centro ofreciese grados con un nombre más general, tal como el de *Maestría* o *Doctorado en Ciencias*, que haría que el programa se publicitase de una manera más efectiva entre los aspirantes. La definición de opciones terminales sería de acuerdo a la vocación de cada una de las Unidades de Investigación. Esto permitiría que los egresados definieran de manera clara su formación específica para los trámites necesarios. En el caso de los Posgrados de la Unidad de Materiales, éstos tendrían un cambio menor pues se convirtieron en Maestría y Doctorado en Ciencias y la opción académica sería Materiales Poliméricos. Cabe mencionar que el acuerdo R:35:01:04 tomado por el Consejo Directivo del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. en la Primera Sesión Ordinaria de Órgano de Gobierno, el mes de abril de 2004, autorizó la solicitud de cambio de nombre de los Programas de Posgrado del CICY. Con esta base, el Consejo Técnico Consultivo Interno, después de haber estudiado la propuesta de cambio de nombre de los Programas de: Maestría en Ciencias y Biotecnología

de Plantas, Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, Maestría en Materiales Poliméricos y Doctorado en Materiales Poliméricos, y contando con la opinión favorable emitida por los Consejos de Profesores, con fundamento en el Artículo 56 del Reglamento General de Estudios de Posgrado, acordó que el Centro ofrecería los grados de Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias en cada uno de los programas de Posgrado. Los programas vigentes son los siguientes:

1. La Unidad de Materiales continúa ofreciendo los Programas de Materiales Poliméricos y los grados de Maestría en Ciencias en Materiales Poliméricos y Doctorado en Ciencias en Materiales Poliméricos.
2. Las Unidades Biológicas cambiaron el nombre del Programa de Ciencias y Biotecnología de Plantas a Programa de Ciencias Biológicas. Las especialidades ofrecidas en este programa son: “Biotecnología”, “Recursos Naturales” y “Bioquímica y Biología Molecular”. El Programa de Ciencias Biológicas ya no tiene un coordinador único y cada opción terminal o especialidad tiene un coordinador que se hace responsable de los asuntos pertinentes a cada una de ellas y para su operación.

Esta solicitud de cambio de registro fue autorizada por el Conacyt el 11 de Marzo de 2008. Asimismo, el registro ante la Dirección General de Profesiones se realizó el 27 de marzo de 2009. Los cambios propuestos así como el crecimiento natural de los programas de Posgrado también obligaron a realizar una revisión del Reglamento General de Estudios de Posgrado y sus Manuales de Operación. Cabe mencionar que dicha tarea fue realizada por el Consejo Técnico Consultivo Interno, y dicho Reglamento entró en vigencia el día 1 de enero de 2008. Otro cambio importante fue la creación de la Subdirección de Posgrado, órgano responsable de coordinar las actividades académico-administrativas de los programas de Posgrado del Centro. Como resultado de esta reestructuración también se redefinieron las funciones que se realizan en el Departamento de Servicios Docentes y se nombró a la Lic. Gilma Michell como Subdirectora de Posgrado a partir del día 1° de marzo de 2008.

### **Los Coordinadores de los Programas de Posgrado del CICY**

En el periodo de 2003 a 2009, los programas de Posgrado fueron coordinados por varios profesores-investigadores de nuestro Centro. Los programas de Ciencias y Biotecnología de Plantas en el año 2003 eran coordinados por el Dr. Felipe A. Vázquez Flota, profesor-investigador de la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, y los de Materiales Poliméricos, por el Dr. Gonzalo Canché Escamilla. Es necesario mencionar que durante el año 2003 y principios de 2004, los Dres. Vázquez Flota y Canché Escamilla realizaron un esfuerzo muy importante en la consolidación de los programas vigentes en ese entonces. Su apoyo en la generación de la documentación para su envío al Conacyt en las solicitudes del PIFOP 1.0 y 2.0 fue extremadamente importante. Fue en este periodo que se realizó un trabajo de edición y actualización del Manual de Procedimientos Operativos del Posgrado.

El 4 de abril de 2004, el Dr. Canché Escamilla fue sustituido por el Dr. Carlos Rolando Ríos Soberanis, y el Dr. Vázquez Flota fue sustituido el 3 de noviembre de 2004 por el Dr. Luis Manuel Peña Rodríguez, profesor-investigador de la Unidad de Biotecnología. Tanto el Dr. Ríos Soberanis como el Dr. Peña Rodríguez se abocaron, desde el inicio de su gestión, a hacer un recuento del estado de cada uno de los programas y de los compromisos contraídos por el Centro en el marco del PIFOP. Sus actividades se centraron en el abatimiento del rezago en la tasa de graduación y mejora de la eficiencia terminal.

El Dr. Ríos fue sustituido en el cargo de coordinación de los programas de Materiales Poliméricos por el Dr. Fernando Hernández Sánchez el día 15 de Julio de 2005, quien a su vez fue sustituido por el Dr. Canché Escamilla, el 22 de septiembre de 2006, nombrado nuevamente coordinador de los programas de Materiales Poliméricos.

El Dr. Peña Rodríguez concluyó su gestión como coordinador de los programas de Maestría y Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas el día 3 de noviembre de 2007. Los coordinadores nombrados a partir del día 1 de enero de 2008 para las opciones académicas del Posgrado en Ciencias Biológicas fueron: Dr. Jorge Santamaría Fernández, opción terminal de Biotecnología; Dra. Ivón Ramírez Morillo, coordinadora de la Opción de Recursos Naturales, y Dr. Óscar A. Moreno Valenzuela, Opción en Bioquímica y Biología Molecular.



**Figura 3.** Coordinadores de los programas de posgrado.  
Dra. Mascha A. Smit, Dr. Jorge Santamaría Fernández, Dr. Pedro J. Herrera Franco, Lic. Gilma Michell, Dr. Óscar A. Moreno Valenzuela, Dra. Ivón Ramírez Morillo y Dr. Gonzalo Canché Escamilla.

En resumen, durante los pasados seis años, la formación de recursos humanos ha crecido y es una parte fundamental del desarrollo de nuestra institución. Para esto, es indispensable que todos los actores, profesores-investigadores, técnicos académicos, administradores y directivos hagamos de nuestro quehacer diario el motor de nuestros programas, en los salones de clase, en los laboratorios, etc. El CICY tiene un compromiso ineludible, que es el de contribuir al desarrollo del país, y mejorando la calidad y pertinencia de nuestros programas de Posgrado, haciéndolos más cercanos al entorno nacional, logrará que alcancen las certificaciones internacionales deseadas, hará de nuestra institución un mejor centro y se impulsará el desarrollo científico que tanto necesita el país.



## **SEGUNDA PARTE**



### **Sección IV: Los temas de investigación**



## Agaves, frijol y agricultura maya

*Patricia Colunga GarcíaMarín*

Como se describe en capítulos anteriores, los primeros cinco años de trabajo de los fundadores del CICY estuvieron centrados en el henequén. Para abril de 1985, cuando ingresé al entonces Departamento de Ecología, estaba claro que el henequén seguiría siendo un tema central para el Centro. Aún estaban por abordarse aspectos vertebrales para el mejor aprovechamiento de este cultivo. Dada mi formación y mis intereses de investigación, las preguntas que me propuse resolver fueron: ¿Cuál es el origen biológico y cultural del henequén? ¿Cuál es su diversidad biológica y cultural actual? ¿Cuáles son las lecciones que su historia biológica y cultural nos ofrecen para hacer un mejor uso de este cultivo? Inicié mis investigaciones bajo la orientación de Roger Orellana, quien entonces dirigía el Departamento, y a partir de los resultados obtenidos por su grupo de “Estudios Ecológicos y Socioeconómicos” (cuya historia nos cuenta en el Cap. 4 de este libro). Estos resultados habían sido ya sintetizados en la obra *Biología y aprovechamiento integral del henequén y otros agaves* que salió a la luz a fines de 1985.

En esta sección narraré de manera breve la historia de la labor científica y docente que emprendimos el grupo de “Diversidad, Evolución y Bioseguridad de Recursos Fitogenéticos”, formado originalmente alrededor del henequén y después, alrededor del cocotero, los frijoles, los recursos fitogenéticos alimenticios de la agricultura maya y los agaves mezcaleros e ixtleros del sur de Jalisco. Describiré también la forma en la que se entreteje esta historia con la de otros grupos de investigación del Centro para los cuales los agaves han sido un gran tema de investigación.

## Agaves

A mi ingreso al CICY en abril de 1985, el grupo encabezado por Roger Orellana había resumido sus hallazgos en el trabajo “Algunos aspectos ecológicos de los agaves de la península de Yucatán”. Partí de él, de la orientación de Roger, y de mi propia experiencia en el estudio de los nopales del Bajío guanajuatense (bajo la dirección del Dr. Efraím Hernández Xolocotzi), para diseñar la investigación que iniciaría a fin de responder las preguntas ya mencionadas. El Sr. Lamberto Sulub Yah era el chofer del Departamento, y su compañía en el campo fue fundamental, pues era un campesino maya, con relaciones familiares en varios pueblos del estado, perteneciente al ejido henequenero de Chuburná, con gran interés en el trabajo y una actitud personal que hacía de las salidas al campo una experiencia de grato compañerismo y de trabajo fructífero. Las mismas cualidades encontré en el Sr. Filogonio May, quien en 1987 fue contratado como técnico y colaboró conmigo hasta 1991. A su calidez humana, se le añadían su capacidad técnica para colaborar en las colectas y en el procesamiento de la información botánica. Los resultados de la primera fase del proyecto, la investigación etnohistórica y la exploración etnobotánica, también se vieron alimentados por la visión de Daniel Zizumbo, quien entonces coordinaba el proyecto “Dinámica de la milpa”, dirigido por el Dr. Efraím Hernández X. del Colegio de Posgraduados de Chapingo. Los resultados de esta primera fase indicaron que el henequén fue domesticado por los mayas a partir de las poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* Haw. de la península de Yucatán, conocidas en maya como Chelém, que en el seno de su sistema agrícola tradicional se habría desarrollado una agrobiodiversidad de por lo menos siete variedades distintas de las cuales se hacía un uso integral que incluía todas las partes de la planta y por lo menos 41 formas de utilización, que su cultivo abarcaba una amplia área geográfica, y que casi todo esto se perdió con el cambio de orientación, intensidad y racionalidad de su cultivo, derivado del desarrollo de plantaciones univarietales enfocadas a la exportación de su fibra; de modo que para el presente, subsiste prácticamente sólo una variedad y sus usos tradicionales están perdiéndose, como su uso alimenticio, que para el momento de la exploración etnobotánica ya casi nadie lo conocía. Es interesante saber que en ese entonces no podíamos decir en el CICY que hacíamos etnobotánica; los prejuicios imperantes en el Centro hacia esa disciplina científica no se disiparon sino mucho después. Producto de esa fase de investigación fue una colección de



germoplasma establecida para la evaluación de las tres variantes de henequén aún encontradas y los tres ecotipos de la especie silvestre. Esta colección alberga, además, el germoplasma que resguardaba entonces la paraestatal Cordemex, que estaba próxima a desaparecer. En conjunto con el Dr. Jorge Reyes, primero, y posteriormente con la Dra. Noemí Cazaurang, de la entonces División de Química Aplicada, evaluamos los contenidos de saponinas esteroideas y las características físicas y químicas de las fibras de las variedades de henequén aún existentes (1990). Este tipo de colaboración se amplió, posteriormente, al estudio de la celulosa química de la lechuguilla (1996), en conjunto con el Dr. Alfredo Márquez de la ya para entonces llamada División de Materiales.

A este punto de la investigación se requería documentar la diversidad morfológica y genética del germoplasma encontrado e interpretarla e interpretarla a la luz de los hallazgos anteriores. Con ese interés, inicié mis estudios doctorales en 1991, en el Centro de Ecología de la UNAM, bajo la dirección de los Drs. Robert Bye y Daniel Piñero. Para la investigación genética, hubo que utilizar los laboratorios de la Unidad de Biología Vegetal, ya que en la Unidad de Recursos Naturales no disponíamos de infraestructura para hacerlo. Los antecedentes de conocimiento citogenético de los taxa de interés (*A. fourcroydes* Lem y *A. angustifolia* Haw), los había ya establecido Isidro Castorena y sus colaboradoras (1991), quienes en ese año publicarían los resultados de su trabajo. El Dr. Daniel Piñero comisionó entonces a la técnico Biól. Nidia Pérez Nasser para que nos enseñara y ayudara a montar la técnica de análisis de isoenzimas en las condiciones del CICY, y nos proporcionó las facilidades de la UNAM para la compra de reactivos, que para entonces era mucho más tardado y caro que a través de nuestra máxima casa de estudios. Como en Recursos Naturales tampoco contábamos con técnicos de laboratorio, la Unidad de Biología Vegetal comisionó al Sr. Julián Coello para apoyarme en este trabajo. Una vez que lo capacitamos en los procedimientos necesarios, el Sr. Coello puso todo su empeño y creatividad para que los análisis de laboratorio concluyeran exitosamente. Compartimos en aquel entonces equipo, reactivos, conocimientos técnicos y largas jornadas de camaradería en el laboratorio Daniel Zizumbo, quien estaba realizando el análisis de la variación genética del germoplasma mexicano de cocotero, también como parte de su tesis doctoral, Rolando Cardeña y Mario Sumano, estudiantes de posgrado del CICY que usaban la misma técnica de análisis molecular.

Producto de ese trabajo fue el hallazgo de que: 1) el henequén fue domesticado a partir de las poblaciones de *A. angustifolia* de la península de Yucatán; 2) su síndrome de domesticación incluye la pérdida casi total de su capacidad de reproducción sexual, la disminución de la espinosidad y el incremento de la fibrosidad de sus hojas, y 3) que se trata de un caso extremo de pérdida de variación genética de un cultivo tradicional al incorporarse a un sistema de plantación con fines comerciales, y que en gran contraste, las poblaciones de su ancestro silvestre mantienen alta variación genética. Las implicaciones prácticas de estos hallazgos seguían siendo las esbozadas por la investigación etnobotánica y morfológica: evaluar las variantes aún existentes en sus usos potenciales, como la forma más viable de conservarlas (usar para conservar) y la conservación de las poblaciones silvestres. Los hallazgos de este trabajo y la colección de germoplasma establecida sirvieron de base a otras pesquisas, como la del Dr. Nikolai Piven acerca de la biología reproductiva del henequén y su ancestro silvestre, quien describió (2001) las alteraciones en la formación de los gametofitos masculinos y femeninos del henequén que son probablemente las responsables de su baja fertilidad. El incremento de la fibrosidad de las hojas como parte del síndrome de domesticación despertó el interés del grupo del Dr. Manuel Robert como un indicador morfológico a usar en la selección de germoplasma elite en sus proyectos de micropropagación del henequén que nos reseña en la primera parte de esta obra.

La experiencia en esta investigación nos indicó que el ancestro silvestre del henequén, *A. angustifolia*, es una de las especies silvestres más importantes de México, ya que a partir de ella se domesticaron varios de los cultivares de agave de mayor relevancia económica, entre ellos, el tequila. Comenzamos así, en 2003, la investigación de la agrobiodiversidad y evolución del otro cultivar de agave que ha significado, como el henequén, uno de los productos de mayor venta nacional e internacional: el tequila. En este punto, los resultados de Daniel Zizumbo (1997) acerca de "El Cocotero en México: historia, variación morfofisiológica y diversidad genética" fueron fundamentales para el diseño de la investigación, ya que nos dieron las bases para postular que la mayor diversidad genética relacionada con la producción de bebidas destiladas de agave en el occidente de México (mezcales), de la cual se habría originado el tequila, se encontraba en las estribaciones de los volcanes de Colima. La hipótesis se basó en el hecho de que la destilación de las bebidas tradicionales de agave se originó en esta área, como pro-

ducto de la introducción del destilador asiático por parte de la población filipina que fue llevada a las costas de Colima por los españoles durante la Colonia, a fin de establecer el cultivo del cocotero. Esta hipótesis resultó positiva y de ella partimos para realizar una investigación más profunda que incluyó la tesis doctoral de Ofelia Vargas y un proyecto de vinculación con los productores tradicionales de mezcal del sur de Jalisco para la conservación *in situ* de su germoplasma. Este trabajo ha indicado que mientras los productores tradicionales mantienen una riqueza de más de 20 variedades tradicionales de *A. angustifolia*, con una diversidad genética similar a las poblaciones silvestres, la producción comercial del tequila lo hace sólo con base a una variedad (*agave azul*) que tiene una diversidad genética 73% menor. La colección de germoplasma de agaves del CICY la hemos incrementado con este germoplasma; su cuidado ha estado a cargo de Tomás González, Sigfredo Escalante, Filogonio May y Miguel Fernández.

En esta etapa de la investigación, confluimos con el interés del Dr. Alfonso Larqué por los usos potenciales del henequén, derivados de los azúcares que se podrían obtener de los tallos cocidos (mieles y bebidas destiladas) y de los jugos de las hojas (alcoholes). Su grupo ha realizado contribuciones significativas, entre las que destacan la descripción del proceso de producción de jarabe de henequén y sus características (2007), la Patente número 231037 para el “Proceso para la fabricación de bebida alcohólica a partir del henequén (*Agave fourcroydes*)” registrada en 2001, y la descripción de la producción de etanol a partir del jugo de las hojas (2008). En este interés, han evaluado las dos variedades más comunes de henequén, y han incluido diferentes condiciones de edad y climáticas.

En noviembre de 1981, en sus inicios, el CICY organizó un simposio internacional trascendental para el arranque de sus proyectos y programas “Problemas y perspectivas de la biología y aprovechamiento integral de los agaves”, que resultó en un libro publicado en 1985. Después de más de 22 años, consideramos que el CICY debía nuevamente organizar un gran evento internacional en torno a los “Agaves de importancia económica en México”, y así fue que en conjunto con los Dres. Luis Eguiarte y Abisaí García, de la UNAM, los Dres. Alfonso Larqué y Manuel Robert, junto con la que esto escribe, organizamos dicha reunión del 3 al 5 de marzo del 2004. Ese mismo año, la Comisión Nacional de Biodiversidad (Conabio) reconoció nuestra experiencia solicitándonos en 2004 una

“Base de datos de nombres técnicos o de uso común en el aprovechamiento de los Agaves en México” que le permitiera al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial la aplicación correcta de la Ley que le compete. El título del libro derivado del Simposio ya mencionado, publicado en 2007, no podía ser más sugerente en cuanto al camino recorrido por el CICY a 28 años de su fundación: *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. Podemos decir que este título aplica tanto para el país como para el CICY, en cuya comunidad científica el interés por los agaves tiene raíces, se mantiene y tiene un gran futuro.

### **Frijol y los recursos fitogenéticos alimenticios de la agricultura maya**

Como ya comenté, la línea de investigación en “Diversidad, Evolución y Bioseguridad de Recursos Fitogenéticos” se formó en 1985 alrededor del henequén, y después, alrededor del cocotero, con el ingreso al CICY del entonces M. en C. Daniel Zizumbo en enero de 1989. La historia de las investigaciones sobre este cultivo son narradas por los Drs. Zizumbo y Oropeza en otra sección de este libro, en donde se reseña que el estudio y aprovechamiento de la agrobiodiversidad de esta especie ha resultado fundamental para enfrentar la epidemia del Amarillamiento Letal del cocotero, no sólo en México, sino también en Centroamérica. En 1990 iniciamos otro tema que nos parecía fundamental para el área: el estudio de la agrobiodiversidad disponible al sistema milpero de la península de Yucatán, tema en el que habíamos trabajado antes de nuestro ingreso al CICY. Con base en la experiencia previa y en colaboración con el proyecto “Dinámica de la milpa” del Colegio de Posgraduados y el Ministerio de Relaciones Exteriores de Dinamarca (DANIDA), participamos en la organización del Simposio “La Modernización de la Milpa en Yucatán: Utopía o Realidad”, cuyas memorias se publicaron en 1992. Dando continuidad a este tópico, en 2002 organizamos, junto con el Dr. Alfonso Larqué, el Simposio “Naturaleza y Sociedad en el Área Maya”, publicando también las memorias en 2003. Sobre este tema hemos generado listas de especies nativas e introducidas (destacando de manera importante la riqueza de las especies frutales) y desarrollado hipótesis de cuáles podrían ser las especies domesticadas en el área. A partir de 1999, integramos a nuestra línea de investigación el estudio de la diversidad, estructura y flujo génico de las poblaciones silvestres y cultivadas de las dos especies de frijol más importan-

tes en México, de las que la población rural deriva su mayor ingesta proteica. El diseño inicial de estas investigaciones estuvo basado en la experiencia previa de Daniel Zizumbo en el Bajío guanajuatense y en la colaboración con el Dr. Paul Gepts, de la Universidad de California-Davis, con quien durante ese año realizamos una estancia posdoctoral y con quien desde entonces hemos mantenido una estrecha y fructífera colaboración. Ligado a este inicio, establecimos un laboratorio con toda la infraestructura para poder trabajar marcadores moleculares, con el apoyo inicial de los técnicos Rubí Gamboa y Miguel Fernández, y posteriormente de Patricia Flores y Julián Coello. Asimismo, iniciamos la impartición de los cursos de posgrado “Genética y Evolución”, “Genética de Poblaciones”, “Ecología y Evolución Molecular”, “Etnobotánica y Recursos Fitogenéticos” y “Plantas, Genes y Culturas”. Las investigaciones en frijol se enmarcaron en los problemas ecológicos y éticos involucrados en la posible liberación al ambiente de organismos genéticamente modificados en México, por ser centro de origen de multitud de plantas que han sido ya transformadas genéticamente y que son originarias del país, plantas de alta relevancia nacional y mundial, como maíz, frijol, chile, calabaza, jitomate y algodón. Si bien los riesgos en maíz (una planta alógama), ya estaban abordándose y los resultados estaban en discusión, en el otro extremo, en una planta autógama como el frijol, no se conocían los riesgos, los cuales se consideraban mínimos o inexistentes. Así, con el afán de tener un cuadro más completo, se enfrentó el reto de investigar la dinámica evolutiva de los frijoles en su centro de domesticación, en sitios donde se presentan conviviendo con poblaciones silvestres y domesticadas en dos regiones de México: el Bajío guanajuatense y la península de Yucatán, en dos especies de frijol: *Phaseolus vulgaris* L. y *P. lunatus* L. Utilizamos tanto técnicas ecológicas, como genéticas y moleculares, demostrando en ambas especies flujo génico asimétrico a largo plazo de las poblaciones domesticadas a las silvestres, y por tanto, alto riesgo en la introducción de frijoles genéticamente modificados en el país. A la par de generar información básica relevante para la conservación de la agrobiodiversidad de estos cultivos, se han formado recursos humanos a nivel doctorado, Emeterio Payró y Jaime Martínez, éste último de recién ingreso como investigador del CICY (2007). En el mismo año, se incorporó a esta línea de investigación el Dr. Javier Mijangos abordando la agrobiodiversidad del maíz en la península de Yucatán. El grupo se ha ampliado y las perspectivas son muchas, ya que México es uno de los tres

centros de origen y diversidad de plantas cultivadas más importantes del mundo. Nuestra responsabilidad de conservar *in situ* nuestros recursos, junto con nuestra cultura, es un reto que hemos aceptado y al que hemos contribuido en estos 30 años de labor científica y educativa.

# **El estudio de *Catharanthus roseus* L. (G) Don como base para la formación de nuevos investigadores**

*Victor M. Loyola Vargas*

## **Introducción**

La utilización de *Catharanthus roseus* L. (G) Don como modelo experimental en el CICY surgió en una conversación entre los Drs. Manuel L. Robert y Rodolfo Quintero en el verano del año 1981. La razón detrás del uso de esta planta como modelo de estudio era la necesidad de encontrar mecanismos que evitaran que el IMSS importara las medicinas que se utilizan en el tratamiento de algunos tipos de cáncer. Estas medicinas contienen vincristina y vinblastina, dos compuestos obtenidos por extracción de las hojas de *C. roseus*. El autor fue invitado a unirse al proyecto poco tiempo después. Como resultado de esta inquietud, el autor junto con los doctores Robert y Jorge Vázquez sometieron al IMSS, en abril del año 1982 para su eventual financiamiento, el proyecto “Producción de alcaloides en cultivos celulares de *Vinca rosea*”. En ese tiempo, el Dr. Robert ya formaba parte del personal del CICY como jefe del departamento de Fisiología Vegetal. El proyecto nunca fue financiado.

## **La planta**

*Catharanthus roseus* L. (G.) Don es una planta originaria de Madagascar, pertenece a la familia de las Apocyanaceae. En México recibe diversos nombres, dependiendo de la región del país, entre ellos se cuentan los de maravilla, teresita, vicaria, entre otros. A finales de los años 50's y principios de la década de los 60's del siglo pasado, dos grupos, uno en Canadá y el otro en los Estados Unidos, descubrieron que las hojas de esta planta producían una gran cantidad de alcaloides y que por lo menos dos de ellos, la vincristina y la vinblastina, poseían propiedades citotóxicas. Poco



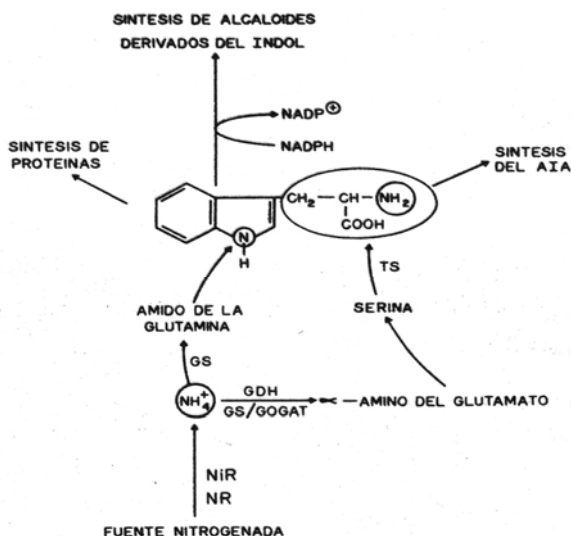
tiempo después, la compañía Eli Lilly completó los estudios que le permitieron comercializar estos fármacos. Desde entonces, ambas medicinas han estado en el mercado para la quimioterapia de la leucemia infantil y la enfermedad de Hogkins.

**Figura 1.** Fotografía de una planta de *C. roseus*.

### Los estudiantes

La biosíntesis de los alcaloides monoterpén indólicos requiere de dos rutas del metabolismo primario, la de la biosíntesis de los aminoácidos aromáticos y la de los terpenos. Esto es porque este tipo de alcaloides poseen un anillo indólico y una cadena terpénica. Cuando realicé la revisión bibliográfica para elaborar el primer proyecto, vi claramente dos cosas: 1) ningún grupo en el mundo había logrado la biosíntesis de alcaloides bisindólicos en cultivo de tejidos vegetales, y 2) la fuente de nitrógeno, ya sea para las plantas o el cultivo de tejidos, debería tener una influencia muy grande en la

biosíntesis de estos compuestos. Esto debido a la influencia que tiene en la biosíntesis de los aminoácidos aromáticos.



**Figura 2.** Hipótesis inicial de trabajo de los proyectos de *C. roseus*.



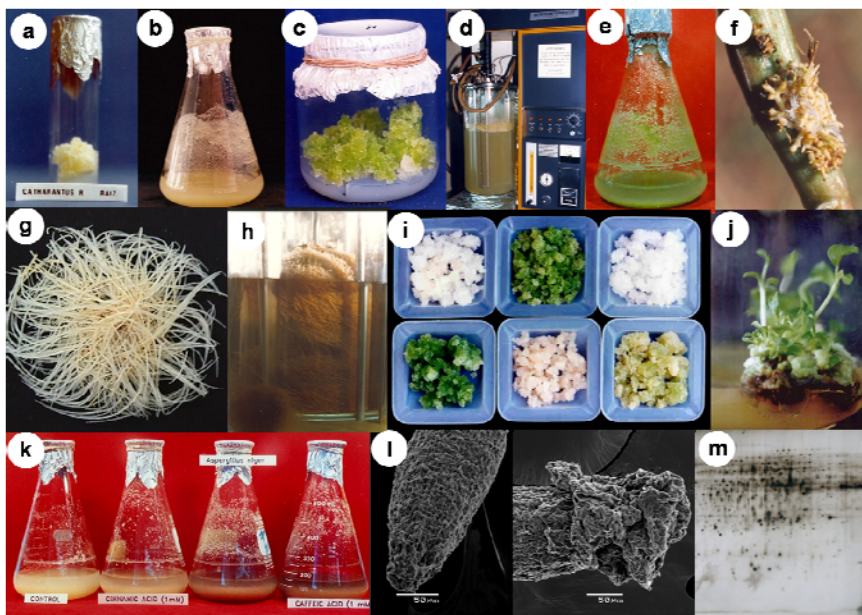
Por diferentes razones los otros miembros del grupo dejaron el proyecto, de esta forma y dado que era todo un reto intelectual abordarlo, me hice cargo del proyecto y desde entonces *C. roseus* ha estado presente en mi laboratorio por más de 27 años.

Con un grupo de estudiantes de licenciatura de la Universidad Autónoma Metropolitana y de la Facultad de Química de la UNAM inicié la tarea de tratar de obtener alcaloides de los cultivos de tejidos de *C. roseus* (Angel-Carrillo, 1983; Fierro, 1984; Gómez, 1984; López, 1984; Romero-Castillo, 1984; Robles-Corona, 1985). En noviembre de 1982 obtuvimos el primer cultivo de tejidos de *C. roseus*. De esta forma, hoy en día tenemos en nuestro laboratorio callos de *C. roseus* que el próximo noviembre tendrán 27 años de que fueron iniciados. A este trabajo siguió el establecimiento de suspensiones celulares, obtención de protoplastos, la determinación del contenido de alcaloides en los cultivos que habíamos obtenido e iniciamos el estudio del efecto de la fuente nitrogenada y de diferentes tipos de estrés en el contenido de alcaloides de los cultivos y plantas de *C. roseus* (Rios-Chavez, 1987; Velasco-Rodríguez, 1987). En el año 1983 obtuve el primer financiamiento para esta línea de investigación por parte del Conacyt.

Un poco más adelante, el Dr. Robert, desde el CICY, se reincorporó al proyecto e inició su participación el Dr. Jorge Reyes del Departamento de Farmacia de la División de Estudios Superiores de la Facultad de Química. El Dr. Reyes es un experto en el campo de los productos naturales, su incorporación al proyecto trajo todas las metodologías que se requerían para el aislamiento, purificación, caracterización e identificación de los compuestos que estábamos aislando de los cultivos de *C. roseus*.

Por varios años, a partir de noviembre de 1982, estuve asistiendo al CICY como profesor visitante. En octubre del año 1985 me incorporé al Centro como investigador en año sabático. Esta incorporación permitió traer físicamente el proyecto al CICY y la incorporación de la primera estudiante de nuestra institución a la línea de investigación de metabolismo secundario (Méndez, 1986.). Después de mi año sabático me incorporé en forma definitiva al Centro y se me encomendó la tarea de crear el Departamento de Bioquímica. Al mismo tiempo, en el año de 1986 se había iniciado la colaboración con el Instituto Tecnológico de Mérida para impartir de manera conjunta una maestría. Esta asociación permitió incorporar, por primera vez, estudiantes de posgrado a nuestros proyectos de investigación (Godoy-Hernández, 1989; Monforte-

González, 1991; Vázquez-Flota, 1991; Cosgaya-Cárdenas, 1993; Moreno-Valenzuela, 1993; Islas-Flores, 1994; Ciau-Uitz, 1996; Galaz-Avalos, 1996; Herrera-Alamillo, 1998). Al mismo tiempo, siguieron incorporándose estudiantes de licenciaturas de las diferentes instituciones del estado de Yucatán (Ortuño-Olea, 1988; Fuente-Moreno, 1990; Molina-Pérez, 1991; Chi-Manzanero, 1992; Ciau-Uitz, 1992; Pacheco-Barrera, 1992; Herrera-Alamillo, 1993; De los Santos-Briones, 1994; Canto-Flick, 1997; Navarrete Loeza, 1995; Campos Tamayo, 2002; Carrillo Pech, 1998; Piña Chable, 1987; Sánchez Cach, 1996; Chin Vera, 1996). Los primeros estudiantes de doctorado que trabajaron en esta línea de investigación nos permitieron avanzar en dos frentes muy importantes, el conocimiento del metabolismo nitrogenado de la planta (Miranda-Ham, 1992) y la obtención de plantas a partir de callos (Akcám, 1993). Más adelante se incorporaron otros estudiantes de posgrado cuyos temas de tesis tuvieron a *C. roseus* como el modelo de estudio (Suárez-Solis, 1999; Echevarría-Machado, 2003; Rodríguez-Zapata, 1998; De los Santos-Briones, 1998; Moreno-Valenzuela, 1999; Canto-Canché, 2000; Ayora-Talavera, 2002; Sánchez-Iturbe, 2004; Ruiz-May, 2008; Hernández-Domínguez, 2005; Sánchez Cach, 2001; Piña Chable, 2000), así como de maestría (Campos-Tamayo, 2004). Todos los estudiantes que se formaron usando *C. roseus* como modelo experimental son hoy en día investigadores independientes.



**Figura 3.** Algunos cultivos de *C. roseus* desarrollados en mi laboratorio. a) Callos iniciados en noviembre de 1982. b) Suspensiones celulares. c) Tumores obtenidos con *Agrobacterium tumefaciens*. d) Escalamiento de cultivos celulares en un biorreactor de 14 L con un volumen operativo de 10 L. e) Suspensiones celulares con un elevado contenido de clorofila. f) Infección de un tallo con *A. rhizogenes*. g) Cultivo de raíces transformadas iniciadas en agosto de 1990. h) Escalamiento de un cultivo de raíces transformadas. i) Variabilidad obtenida en mi laboratorio en callos de *C. roseus*. j) Regeneración de plántulas de *C. roseus*. k) Efecto de inductores en la producción de metabolitos secundarios. l) Microscopía electrónica de raíces transformadas de *C. roseus*, a la izquierda un testigo de 15 d, a la derecha una raíz tratada con 100  $\mu\text{M}$  de jasmonato de metilo por 72 horas. m) Gel de acrilamida de doble dimensión de raíces transformadas de *C. roseus* cultivadas por 15 días.

### Las aportaciones

Durante los primeros tres años nuestro grupo de investigación publicó una serie de artículos en los que se hacía una revisión profunda en el estado del arte y se proponía una hipótesis de trabajo (Loyola-Vargas, 1984a y b; Romero-Castillo *et al.*, 1984; Romero-Castillo *et al.*, 1985; Segura-Mora, 1985). Al mismo tiempo

iniciamos diferentes estudios con la planta concernientes a entender su comportamiento frente a diferentes fuentes de nitrógeno y tipos de extremos ambientales (Loyola-Vargas *et al.*, 1986; Miranda-Ham and Loyola-Vargas, 1992; Sáenz-Carbonell *et al.*, 1993a; Sáenz *et al.*, 1990; Miranda-Ham *et al.*, 1996). Determinamos como la planta de *C. roseus* maneja su nitrógeno y purificamos a la enzima glutamino sintetasa de las hojas de la planta. La enzima fue caracterizada y pudimos determinar su papel en la asimilación de nitrógeno por *C. roseus*. Mientras que por otro lado determinamos cómo la sequía modifica la biosíntesis de alcaloides en la planta.

Establecimos diferentes líneas de callos y suspensiones celulares y desarrollamos un método para medir el contenido de alcaloides (Monforte-González *et al.*, 1992). En forma paralela empezamos a determinar los diferentes parámetros que modifican el contenido de los alcaloides en los cultivos vegetales. Entre los más importantes determinamos el efecto de la luz (Loyola-Vargas *et al.*, 1992), el efecto de la adición de homogenados fúngicos (Godoy-Hernández and Loyola-Vargas, 1991), el efecto de extremos salinos (Vázquez-Flota and Loyola-Vargas, 1994a y 1994b) y el efecto de diferentes fuentes nitrogenadas (Vázquez-Flota *et al.* 2000). Fuimos los primeros en demostrar que la luz es un factor fundamental en la biosíntesis de la serpiente. Llevamos el cultivo a una escala de 14 L, determinamos el efecto del ácido salicílico (Godoy-Hernández and Loyola-Vargas, 1997) y de algunos inhibidores de la biosíntesis de fenoles, como el ácido *trans*-cinámico, y la de un choque osmótico en la biosíntesis de los metabolitos secundarios (Godoy-Hernández *et al.*, 2000). Todos ellos aumentan la biosíntesis de los alcaloides en *C. roseus*.

A principio de los años 90's abordamos la generación de cultivos con diferentes niveles de organogénesis, particularmente el cultivo de raíces tanto normales como transformadas (Ciau-Uitz *et al.*, 1994). Las diferentes líneas de raíces eran capaces de producir varias veces más alcaloides que los cultivos de callos o las suspensiones celulares. Con estas líneas plenamente establecidas, nos dimos a la tarea de estudiar el efecto de diferentes efectores sobre su proceso de biosíntesis de alcaloides. Entre los diferentes efectores que utilizamos exitosamente para aumentar la biosíntesis de metabolitos secundarios se encontraban el cambio de pH del medio de cultivo (Sáenz-Carbonell *et al.*, 1993b), inductores fúngicos y modificaciones del medio de cultivo (Vázquez-Flota *et al.*, 1994), adición de

reguladores del crecimiento como ácido salicílico (Godoy-Hernández and Loyola-Vargas, 1997) y jasmonato de metilo (Ruiz-May *et al.*, 2009a y b). La adición de enzimas hidrolíticas como la macerozima aumenta de forma importante la producción de alcaloides (Moreno-Valenzuela *et al.*, 1999a). Asimismo, la adición de antagonistas de calcio modifica sustancialmente la liberación de alcaloides al medio de cultivo y aumentan la biosíntesis de los metabolitos secundarios (Moreno-Valenzuela *et al.*, 2003a).

También estudiamos el proceso de biosíntesis de los alcaloides indólicos en *C. roseus*. La primera enzima que estudiamos fue la triptofano decarboxilasa (Islas Flores *et al.*, 1994 y 2002), así como su localización (Moreno-Valenzuela *et al.*, 2003b) y confirmamos que no es el paso limitante en la biosíntesis de los alcaloides en *C. roseus*. Por ello tornamos nuestra investigación hacia la parte terpénica de la ruta de biosíntesis. Determinamos y caracterizamos dos enzimas, la geraniol-10-hidroxilasa (Canto-Canché y Loyola-Vargas, 2000 y 2001; Canto-Canché *et al.*, 2005) y la monoterpén ciclasa (Sánchez-Iturbe *et al.*, 2005). También modificamos genéticamente la ruta de biosíntesis de la parte terpénica introduciendo el gen truncado de la 3-hidroxi-3-metilglutaril CoA reductasa (Ayoara-Talavera *et al.*, 2002), con ello modificamos sustancialmente la biosíntesis de los terpenos, no así la de los alcaloides.

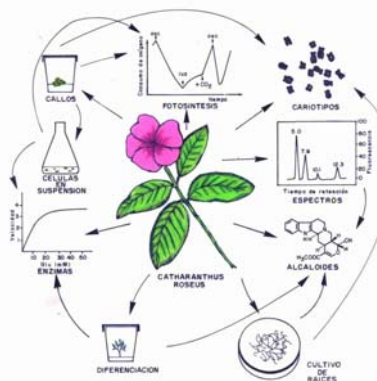
La diferenciación celular afecta en forma importante la biosíntesis de los metabolitos secundarios y la actividad de algunas de las enzimas involucradas en su síntesis (Moreno-Valenzuela *et al.*, 1998). La desdiferenciación de las raíces transformadas en suspensiones celulares conlleva a la drástica disminución de la biosíntesis de los alcaloides y a una disminución muy importante en la actividad de las enzimas triptofano decarboxilasa y estrictosidina sintasa. Cuando las suspensiones celulares son rediferenciadas a raíces, el nivel de los alcaloides regresa a los niveles determinados en los tejidos originales así como la actividad de la estrictosidina sintasa.

El cultivo de raíces transformadas también lo escalamos a 14 L y determinamos cómo son consumidos los nutrientes del medio de cultivo (Moreno Valenzuela, *et al.*, 1999b). En colaboración con el grupo de Química determinamos que las raíces transformadas de *C. roseus* producen un alcaloide, la 19-S-epimicilina, cuya presencia no había sido previamente reportada en esta planta (Peraza-Sánchez *et al.*, 1998).

La incorporación al personal del Centro de la Dra. Teresa Hernández permitió abrir un frente completamente nuevo en el estudio de la biosíntesis de los metabolitos secundarios. La transducción de señales. Su grupo, en parte en forma independiente y en parte en colaboración con mi laboratorio, empezó a estudiar el papel de la fosfolipasa C, el fosfatidil inositol 4,5-bifosfato y otros componentes de las cadenas de transducción de señales en la biosíntesis de alcaloides (Moreno-Valenzuela *et al.*, 1999a; De los Santos-Briones *et al.*, 1997; Hernández-Sotomayor *et al.*, 1999; Echevarría-Machado *et al.*, 2007; Piña-Chablé *et al.*, 1998), así como la presencia de otros componentes de la cadena de transducción de señales (Rodríguez-Zapata y Hernández-Sotomayor, 1998a y 1998b; Suárez-Solis *et al.*, 1999; Islas-Flores *et al.*, 2004; Piña-Chablé y Hernández-Sotomayor, 2001). También se llevaron a cabo los primeros estudios del papel de las poliaminas en la regulación de la fosfolipasa C (Echevarría-Machado *et al.*, 2002).

Igualmente fue importante la reincorporación a la Unidad del Dr. Vázquez Flota después de terminar su doctorado en Canadá. Su grupo empezó a trabajar diferentes aspectos de la biosíntesis de los alcaloides indólicos en *C. roseus*, tales como el papel de la diferenciación celular, las heridas en la planta y el uso de diferentes inductores (Miranda-Ham *et al.*, 2007; Vázquez-Flota *et al.*, 2002, 2004; Hernández-Domínguez *et al.*, 2004; Campos-Tamayo *et al.*, 2008; Vázquez-Flota *et al.*, 2009).

El tratamiento de los diferentes tipos de cultivo de *C. roseus* por reguladores del crecimiento, tales como jasmonato de metilo y ácido salicílico, produce una importante secreción de metabolitos secundarios en el medio de cultivo. Recientemente hemos sido capaces de determinar que, por lo menos, algunos de los alcaloides son secretados al medio de cultivo que involucra a un transportador del tipo ABC (Monribot-Villanueva en prensa) y que los inductores utilizados modifican de manera sustancial la expresión de diferentes genes.



**Figura 4.** Diferentes aspectos estudiados en *C. roseus* a lo largo de los años por el grupo de investigación de la UBBMP.

Haciendo uso de técnicas proteómicas hemos determinado que tanto los ácidos jasmónico y salicílico están involucrados en la inducción de la biosíntesis de los metabolitos secundarios (Ruíz-May *et al.*, 2009a y 2009b).

El reconocimiento a la labor de nuestro grupo se ha materializado en la invitación a escribir diferentes trabajos de revisión en el campo de los alcaloides sintetizados por *C. roseus* (Loyola-Vargas y Hernández-Sotomayor, 2003; Loyola-Vargas *et al.*, 2004 y 2007; Vázquez-Flota y Miranda-Ham, 2006).

En suma, *C. roseus* ha sido una herramienta muy importante en lo que ahora es la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas. No sólo hemos abordado de forma integral su estudio desde la parte celular hasta la molecular, y de esta manera hemos contribuido al avance del conocimiento de la biosíntesis de los alcaloides indólicos, sino que ha servido como herramienta para la formación de una nueva generación de investigadores.

## Referencias

- Akcam, E. 1993. *Catharanthus roseus*'un kallus kültürlerinden rejenerant eldesi. Ege Universitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Bornova. 109 p.
- Angel-Carrillo, S. E. 1983. Obtención de una línea celular de *Catharanthus roseus*. UAM-Iztapalapa. México, D.F. 105 p.
- Ayora-Talavera, T. 2002. Sobreexpresión del gen 3-hidroxi-3-metil-glutaril CoA reductasa (HMGR) en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. Cinvestav. México, D.F. 121 p.
- Ayora-Talavera, T., J. Chapell, E. Lozoya and V. M. Loyola-Vargas. 2002. Overexpression in *Catharanthus roseus* hairy roots of a truncated HAMSTER 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase gene. Appl. Biochem. Biotechnol. 97: 135-145.
- Campos Tamayo, F. D. 2002. Efecto de los procesos de diferenciación sobre el metabolismo de los alcaloides en cultivos *in vitro* de *Argemone mexicana* y *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida. 68 p.
- Campos-Tamayo, F. 2004. Efecto del fotoperíodo sobre la síntesis de alcaloides en cultivos de brotes de *Catharanthus roseus*. CICY. Mérida. 63 p.
- Campos-Tamayo, F., E. Hernández-Domínguez, F. A. Vázquez-Flota. 2008. Vindoline formation in shoot cultures of *Catharanthus roseus* is synchronously activated with morphogenesis through the last biosynthetic step. Ann. Bot. 102: 409-415.
- Canto-Canché, B. 2000. Estudio de las enzimas geraniol 10-hidroxilasa y P450 reductasa en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. CICY. Mérida. 115 p.

- Canto-Canché, B. and V. M. Loyola-Vargas. 2000. Non-coordinated response of cytochrome P450- dependent geraniol 10-hydroxylase and NADPH: CYT C (P-450) reductase in *Catharanthus roseus* hairy roots under different conditions. *Phyton*. 66: 183-190.
- Canto-Canché, B. and V. M. Loyola-Vargas. 2001. Multiple forms of NADPH- cytochrome P450 oxidoreductases in the madagascar periwinkle *Catharanthus roseus*. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*. 37: 622-628.
- Canto-Canché, B., H. Meijer, G. Collu, R. Verpoorte and V. M. Loyola-Vargas. 2005. Characterization of a polyclonal antiserum against the monoterpene monooxygenase, geraniol 10-hydroxylase from *Catharanthus roseus*. *J. Plant Physiol*. 162: 393-402.
- Canto-Flick, A. 1997. Efecto de la presencia de hongos micorrízicos vesículo-arbusculares en la producción de alcaloides en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida. 92 p.
- Carrillo Pech, M. R. 1998. Regulación de la actividad enzimática de la fosfolipasa C por proteína G en células vegetales. UADY. Mérida. 61 p.
- Chi-Manzanero, B. H. 1992. Establecimiento de cultivos *in vitro* de raíces normales de *Catharanthus roseus* (L.) G. Don y evaluación de la producción de alcaloides. UADY. Mérida. 84 p.
- Chin Vera, J. C. 1996. Función del inositol 1,4,5 trifosfato (IP<sub>3</sub>) como segundo mensajero en diferentes cultivos de *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida. 47 p.
- Ciau-Uitz, R. 1992. Establecimiento de un cultivo de raíces transformadas de *Catharanthus roseus* (L.) G. Don mediante la integración del pRi de *Agrobacterium rhizogenes*. UADY. Mérida. 100 p.
- Ciau-Uitz, R. 1996. Elaboración de un banco de cADN de raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. ITM/CICY. Mérida. 65 p.
- Ciau-Uitz, R. M. L. Miranda-Ham, J. Coello-Coello, B. Chí, L. M. Pacheco and V. M. Loyola-Vargas. 1994. Indole alkaloid production by transformed and non-transformed root cultures of *Catharanthus roseus*. *In Vitro Cell. Dev. Biol.*, 30P: 84-88.
- Cosgaya-Cárdenas, E. G. 1993. Estudio de la posible función del AMP cíclico en la respuesta a la infección fúngica y su relación con el metabolismo de alcaloides indólicos en células en suspensión de *Catharanthus roseus*. ITM/CICY. Mérida. 112 p.
- De los Santos-Briones, C. 1994. Purificación e identificación de alcaloides de una línea celular de *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida. 59 p.
- De los Santos-Briones, C. 1998. Estudio de la enzima fosfolipasa C en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. CICY. Mérida. 95 p.
- De los Santos-Briones, C., J. A. Muñoz-Sánchez, J. Chí-Vera, V. M. Loyola-Vargas, and T. S. M. Hernández-Sotomayor. 1997. Phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate-phospholipase C activity during the growing phase of *Catharanthus roseus* transformed roots. *J. Plant Physiol*. 150: 707-713.



- Echevarría-Machado, I. 2003. Función de las poliaminas en el proceso de crecimiento vegetal. Posibles mecanismos de transducción de señales involucrados. CICY. Mérida. 162 p.
- Echevarría-Machado, I., J. A. Muñoz-Sánchez, V. M. Loyola-Vargas, and S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2002. Spermine stimulation of phospholipase C from *Catharanthus roseus* transformed roots. *J. Plant Physiol.* 159: 1179-1188.
- Echevarría-Machado, I., M. Martínez-Estévez, J. A. Muñoz-Sánchez, V. M. Loyola-Vargas, S. M. T. Hernández-Sotomayor and C. De Los Santos-Briones. 2007. Membrane-associated phosphoinositides-specific phospholipase C forms from *Catharanthus roseus* transformed roots. *Mol. Biotechnol.* 35: 297-309.
- Fierro, M. 1984. Determinación de alcaloides en plantas y tejidos obtenidos por cultivo de *Catharanthus roseus* Apocynaceae. Univ. Aut. Chiapas. Tapachula. 51 p.
- Fuente-Moreno, L. 1990. Caracterización de los alcaloides indólicos presentes en líneas celulares normales y habituadas de *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida.
- Galaz-Avalos, R. M. 1996. Estudio sobre la enzima 3-hidroxi-3-metil glutaril CoA reductasa en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. ITM/CICY. Mérida. 53 p.
- Godoy-Hernández, G. 1989. Obtención y cultivo de protoplastos de *Catharanthus roseus* L. (G.) Don. y escalamiento de cultivos celulares a nivel de fermentador. ITM/CICY. Mérida. 139 p.
- Godoy-Hernández, G. and V. M. Loyola-Vargas. 1991. Effect of fungal homogenate, enzyme inhibitors and osmotic stress on alkaloid content of *Catharanthus roseus* cell suspension cultures. *Plant Cell Rep.* 10: 537-540.
- Godoy-Hernández, G. and V. M. Loyola-Vargas. 1997. Effect of acetylsalicylic acid on secondary metabolism of *Catharanthus roseus* tumor suspension cultures. *Plant Cell Rep.* 16: 287-290.
- Godoy-Hernández, G. C., F. A. Vázquez-Flota, and V. M. Loyola-Vargas. 2000. The exposure to trans-cinnamic acid to osmotically stressed *Catharanthus roseus* cells cultured in a 14 L bioreactor increase alkaloid accumulation. *Biotechnol. Lett.*, 22: 921-925.
- Gómez, I. 1984. Influencia de la fuente de nitrógeno sobre el metabolismo nitrogenado y el contenido de alcaloides de *Catharanthus roseus*. UNAM. México, D.F. 76 p.
- Hernández-Domínguez, E. 2005. Regulación de la síntesis de vindolina durante procesos morfogénicos en cultivos *in vitro* de *Catharanthus roseus*. CICY. Mérida. 122 p.
- Hernández-Domínguez, E., F. Campos, F. A. Vázquez-Flota. 2004. Vindoline synthesis in *in vitro* shoot cultures of *Catharanthus roseus*. *Biotechnol. Lett.* 26: 671-674.
- Hernández-Sotomayor, S. M. T., C. de los Santos-Briones, A. Muñoz-Sánchez, and V. M. Loyola-Vargas. 1999. Kinetic analysis of phos-

- pholipase C from *Catharanthus roseus* transformed roots using different assays. *Plant Physiol.* 120: 1075-108.
- Herrera-Alamillo, M. A. 1993. Aislamiento, purificación e identificación de alcaloides no polares de callos fotomixotróficos de *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida. 61 p.
- Herrera-Alamillo, M. A. 1998. Estudio del papel de la diferenciación celular en la síntesis de alcaloides indólicos en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. ITM/CICY. Mérida. 99 p.
- Islas-Flores, I. M. Carrillo-Pech, Y. Minero-García, V. M. Baizabal-Aguirre, J. J. Zúñiga-Aguilar, L. C. Rodríguez-Zapata, and S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2004. MAP kinase-like activity in transformed *Catharanthus roseus* hairy roots varies with culture conditions such as temperature and hypo osmotic shock. *Plant Physiol. Biochem.* 42: 65-72.
- Islas-Flores, I. R. 1994. Obtención de anticuerpos policlonales contra triptofano descarboxilasa (TDC EC 4.1.1.28) de raíces transformadas de *Catharanthus roseus* cultivadas *in vitro*. ITM/CICY. Mérida. 83 p.
- Islas-Flores, I. R., O. Moreno-Valenzuela, Y. Minero-García, V. M. Loyola-Vargas, and M. L. Miranda-Ham. 2002. Tryptophan decarboxylase from transformed roots of *Catharanthus roseus*. *Mol. Biotechnol.* 21: 211-216.
- Islas-Flores, I. R., V. M. Loyola-Vargas, M. L. Miranda-Ham. 1994. Tryptophan decarboxylase activity in transformed roots from *Catharanthus roseus* and its relationship to tryptamine, ajmalicine, and catharanthine accumulation during the culture cycle. *In Vitro Cell. Dev. Biol.*, 30P: 81-83.
- López, M. E. 1984. Variación de la nitrato y nitrito reductasa y el contenido de alcaloides por influencia en los cambios de fuente de nitrógeno en *Catharanthus roseus*. UNAM. México, D.F. 81 p.
- Loyola-Vargas V. M., I. Gómez, M. E. López, J. Reyes, M. Fierro, and M. L. Robert. 1986. Changes in the activity of the enzymes involved in nitrogen metabolism in *Catharanthus roseus* depending on different nitrogen sources. *Can. J. Bot.*, 64: 2052-2056.
- Loyola-Vargas, V. M. 1984a. Obtención de productos secundarios de interés farmacológico a partir de cultivo de tejidos. I. Consideraciones generales y proposición de un modelo. *Rev. Mex. Ciencias Farmacéuticas.* 14: 26-30.
- Loyola-Vargas, V. M. 1984b. La biosíntesis de los aminoácidos aromáticos y su relación con la producción de alcaloides en plantas. En: Saldaña, D. Y., L. G. Álvarez, P. M. Zentella (eds.). *Mensaje Bioquímico.* Vol. VII. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 351-385.
- Loyola-Vargas, V. M. and S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2003. Hairy root cultures of *Catharanthus roseus*: A model for primary and secondary metabolic studies. En: Singh, R.P. y P. K. Jaiwal (eds.). *Plant*

- Genetic Engineering Vol. 1: Applications and limitations. Sci Tech Publishing LLC. Houston. Chap. 13, pp. 297-315.
- Loyola-Vargas, V. M., M. Méndez-Zeel, M. Monforte-González and M. L. Miranda-Ham. 1992. Serpentine accumulation during greening in normal and tumor tissues of *Catharanthus roseus*. *J. Plant Physiol.* 140: 213-217.
- Loyola-Vargas, V. M., P. Sánchez-Iturbe, B. Canto-Canché, L. C. Gutiérrez-Pacheco, R. M. Galaz-Avalos y O. Moreno-Valenzuela. 2004. La biosíntesis de los alcaloides indólicos. Una revisión crítica, *Rev. Soc. Quím. Méx.* 48: 35-62.
- Loyola-Vargas, V. M., R. M. Galaz-Avalos, and J. R. Rodríguez-Ku. 2007. *Catharanthus* biosynthetic enzymes: the road ahead. *Phytochem. Rev.* 6: 307-339.
- Méndez, M. 1986. Establecimiento de una línea celular de *Catharanthus roseus* (L.) G. Don en suspensión. UADY. Mérida. 70 p.
- Miranda-Ham, M. L. 1992. Purificación, caracterización y regulación de la enzima glutamino sintetasa de *Catharanthus roseus*. UNAM, México, D.F. 100 p.
- Miranda-Ham, M. L. and V. M. Loyola-Vargas. 1992. Purification and characterization of glutamine synthetase from leaves of *Catharanthus roseus* plants. *Plant Physiol. Biochem.* 30: 585-592.
- Miranda-Ham, M. L., I. Gómez, V. M. Loyola-Vargas. 1996. Effect of inorganic nitrogen source on ammonium assimilation enzymes of *Catharanthus roseus* plants. *Phyton.* 58: 125-133.
- Miranda-Ham, M. L., I. Islas-Flores y F. A. Vázquez-Flota. 2007. Accumulation of monoterpene indole alkaloids in periwinkle seedlings (*Catharanthus roseus*) as a model for the study of plant-environment interactions. *Biochemistry and Molecular Biology Education.* 35: 206-210.
- Molina-Pérez, M. E. J. 1991. Estudio de la producción de alcaloides totales en una línea tumoral en suspensión de *Catharanthus roseus*, por efecto de un inductor fungal. UADY. Mérida. 69 p.
- Monforte-González, M. 1991. Obtención de alcaloides indólicos de líneas tumorales de *Catharanthus roseus*. ITM/CICY. Mérida. 115 p.
- Monforte-González, M., T. Ayora-Talavera, I. E. Maldonado-Mendoza, and V. M. Loyola-Vargas. 1992. Quantitative analysis of serpentine and ajmalicine in plant tissues of *Catharanthus roseus* and hyoscyamine and scopolamine in root tissues of *Datura stramonium* by thin layer chromatography- densitometry. *Phytochem. Anal.* 3: 117-121.
- Monribo-Villanueva, J. L., E. Ruiz-May, R. M. Galaz-Avalos, V. M. Loyola-Vargas. 2009. Effect of inhibitors of transporters on the secretion of alkaloids by hairy roots of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don and its hormonal regulation. *Planta.* (En prensa).
- Moreno-Valenzuela, O. A. 1993. Efecto de inductores bióticos y abióticos sobre la producción de alcaloides indólicos de raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. ITM/CICY. Mérida. 121 p.

- Moreno-Valenzuela, O. A. 1999. Regulación de la vía de síntesis de los alcaloides indólicos en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. CICY. Mérida. 94 p.
- Moreno-Valenzuela, O. A., M. Monforte-González, J. A. Muñoz-Sánchez, M. Méndez-Zeel, V. M. Loyola-Vargas and S. M. T. Hernández-Sotomayor. 1999a. Effect of macerozyme on secondary metabolism plant product production and, phospholipase C activity in *Catharanthus roseus* hairy roots. *J. Plant Physiol.* 155: 447-452.
- Moreno-Valenzuela, O. A., Minero-García, W. Chan, E. Meyer-Geraldo, E. Carvajal-Mora, and V. M. Loyola-Vargas. 2003a. Increase of the indole alkaloid production and its excretion into the culture medium by calcium antagonists in *Catharanthus roseus* hairy roots. *Biotechnol. Lett.* 25: 1345-1349.
- Moreno-Valenzuela, O. A., R. M. Galaz-Avalos, Y. Minero-García and V. M. Loyola-Vargas. 1998. Effect of differentiation on the regulation of indole alkaloid production in *Catharanthus roseus* hairy roots. *Plant Cell Rep.* 18: 99-104.
- Moreno-Valenzuela, O. A., Y. Minero-García, L. Brito-Argaez, E. Carbajal-Mora, O. Echeverría, G. Vázquez-Nin, and V. M. Loyola-Vargas. 2003b. Immunocytolocalization of tryptophan decarboxylase in *Catharanthus roseus* hairy roots. *Mol. Biotechnol.* 23: 11-18.
- Moreno-Valenzuela, O., J. Coello-Coello, V. M. Loyola-Vargas, and F. Vázquez-Flota. 1999b. Nutrient consumption and alkaloid accumulation in a hairy root line of *Catharanthus roseus*. *Biotechnol. Lett.* 21: 1017-1021.
- Navarrete Loeza, M. P. 1995. Diseño de estrategias para la selección de variantes de interés a partir de una línea de raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida. 80 p.
- Ortuño-Olea, L. 1988. Efecto de la fuente de nitrógeno en las enzimas del metabolismo nitrogenado durante el ciclo de crecimiento en cultivo de tejidos de *Catharanthus roseus*. ENEP. México, D.F. pp. 1-64.
- Pacheco-Barrera, L. M. 1992. Obtención y caracterización fitoquímica de líneas de raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida. 66 p.
- Peraza-Sánchez, S. R., M. Gamboa-Angulo, C. Erosa-López, I. Ramírez-Erosa, F. Escalante-Erosa, L. M. Peña-Rodríguez, and V. M. Loyola-Vargas. 1998. Production of 19(s) epimisinine by hairy root cultures of *Catharanthus roseus*. *Nat. Prod. Lett.* 11: 217-224.
- Piña Chablé, M. L. 1987. Caracterización bioquímica de la enzima fosfolipasa C en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. UADY. Mérida. 69 p.
- Piña Chablé, M. L. 2000. Efecto del aluminio sobre la actividad de la enzima fosfolipasa C en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. CICY. Mérida. 64 p.

- Piña-Chablé, M. L. and S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2001. Phospholipase C activity from *Catharanthus roseus* transformed roots: Aluminum effect. *Prostaglandins & other Lipid Mediators*. 65: 45-56.
- Piña-Chablé, M. L., C. De los Santos-Briones, J. A. Muñoz-Sánchez, I. Echevarría-Machado, and S. M. T. Hernández-Sotomayor. 1998. Effect of different inhibitors on phospholipase C activity in *Catharanthus roseus* transformed roots. *Prostaglandins & other Lipid Mediators*. 56: 19-31.
- Ríos-Chávez, P. 1987. Aspectos bioquímicos del estrés en *Catharanthus roseus*. UNAM. México, D.F. 86 p.
- Robles-Corona, M. L. 1985. Cultivo de tejidos *in vitro* de *Catharanthus roseus* L. UNAM. México, D.F. 85 p.
- Rodríguez-Zapata, L. C. 1998. Fosforilación de proteínas en residuos de tirosina en raíces transformadas de *Catharanthus roseus* L. (G) Don. CICY. Mérida. 90 p.
- Rodríguez-Zapata, L. C. and S. M. T. Hernández-Sotomayor. 1998a. Detection of tyrosine phosphatase activity in *Catharanthus roseus* hairy roots. *Plant Physiol. Biochem*. 36: 731-735.
- Rodríguez-Zapata, L. C. y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 1998b. Evidence of protein-tyrosine kinase activity in *Catharanthus roseus* roots transformed by *Agrobacterium rhizogenes*. *Planta*. 204: 77-84.
- Romero-Castillo, P. 1984. Biosíntesis y farmacología de los alcaloides de *Catharanthus roseus* derivados del indol. UNAM. México, D.F. 112 p.
- Romero-Castillo, P., M. L. Robert, J. Reyes, V. M. Loyola-Vargas. 1984. Farmacocinética de la vincristina y de la vinblastina I. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 15: 15-18.
- Romero-Castillo, P., M. L. Robert, L. J. Reyes, V. M. Loyola-Vargas. 1985. Biosíntesis de la vincristina y de la vinblastina en *Catharanthus roseus*. *Rev. Soc. Quím. Méx.* 29: 115-119.
- Ruiz-May, E. 2008. Proteomic study of hairy roots of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don treated with methyl jasmonate. CICY. Mérida. 156 p.
- Ruiz-May, E., R. M. Galaz-Avalos, V. M. Loyola-Vargas. 2009a. Differential secretion and accumulation of terpen indole alkaloids in hairy roots of *Catharanthus roseus* treated with methyl jasmonate. *Mol. Biotechnol.* 41: 278-285.
- Ruiz-May, E., C. De-la-Peña, R. M. Galaz-Avalos, Z. Lei, B. S. Watson, L. W. Sumner y V. M. Loyola-Vargas. 2009b. ATP biosynthesis deficiency revealed by proteomics approach is correlated with oxidative burst in *Catharanthus roseus* (L.) G. hairy roots treated with methyl jasmonate. *New Phytol.* (En prensa).
- Sáenz, L., C. Oropeza, M. Villanueva, V. M. Loyola-Vargas, and J. Santamaría. 1990. Effect of water deficit on the alkaloid content of plants of *Catharanthus roseus* L. (Don). En: Davies, W. J. and E. Jeffcoat (eds.). *Importance of root to shoot communication in the responses to environmental stress*. British Society for Plant Growth Regulation Series. Lancaster University Press. pp. 393-395.

- Sáenz-Carbonell, L., J. M. Santamaría, M. A. Villanueva, V. M. Loyola-Vargas and C. Oropeza. 1993a. Changes in the alkaloid content of plants of *Catharanthus roseus* L. (Don.) as a result of water stress and treatment with abscisic acid. *J. Plant Physiol.*, 142: 244-247.
- Sáenz-Carbonell, L. A., I. E. Maldonado-Mendoza, O. Moreno-Valenzuela, R. Ciau-Uitz, M. López-Meyer, C. Oropeza, and V. M. Loyola-Vargas. 1993b. Effect of the medium pH on the release of secondary metabolites from roots of *Datura stramonium*, *Catharanthus roseus*, and *Tagetes patula* cultured *in vitro*. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 38: 257-267.
- Sánchez Cach, L. A. 1996. Estudio del gen que codifica para la fosfolipasa C en raíces transformadas de *Catharanthus roseus* línea J1. UADY. Mérida. 49 p.
- Sánchez Cach, L. A. 2001. Clonación del gen que codifica para la fosfolipasa C en raíces transformadas de *Catharanthus roseus* línea J1. CICY. Mérida. 60 p.
- Sánchez-Iturbe, P. 2004. Estudio de la enzima 10-oxogeranial:iridodial ciclasa de raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. CICY. Mérida. 132 p.
- Sánchez-Iturbe, P., R. M. Galaz-Avalos, V. M. Loyola-Vargas. 2005. Determination and partial purification of a monoterpene cyclase from *Catharanthus roseus* hairy roots. *Phyton.* 54: 55-69.
- Segura-Mora, J., M. L. Robert, L. J. Reyes, V. M. Loyola-Vargas. 1985. Obtención de productos secundarios de interés farmacológico en cultivo de tejidos II. *Rev. Mex. Ciencias Farmacéuticas.* 16: 7-12.
- Suárez-Solis, V. M. 1999. Clonación de la subunidad alfa de la proteína G en raíces transformadas de *Catharanthus roseus*. CICY. Mérida. 58 p.
- Suárez-Solis, V. M., M. R. Carrillo-Pech, J. A. Muñoz-Sánchez, R. Coria-Ortega, and S. M. T. Hernández-Sotomayor. 1999. Presence of guanine nucleotide-binding proteins in *Catharanthus roseus* transformed roots. *Physiol. Plant.* 105: 593-599.
- Vázquez-Flota, F. 1991. Obtención y caracterización fisiológica y bioquímica de una línea celular tolerante a la salinidad de *Catharanthus roseus*. ITM/CICY. Mérida. 136 p.
- Vázquez-Flota, F. A., E. Hernández-Domínguez, M. L. Miranda-Ham, and M. Monforte-González. 2009. A differential response to chemical elicitors in *Catharanthus roseus in vitro* cultures. *Biotechnol. Lett.* 31: 591-595.
- Vázquez-Flota, F. and V. M. Loyola-Vargas. 1994a. A *Catharanthus roseus* salt tolerant line. I. Selection and characterization. *J. Plant Physiol.* 144: 116-120.
- Vázquez-Flota, F. and V. M. Loyola-Vargas. 1994b. A *Catharanthus roseus* salt tolerant line. II. Alkaloid production. *J. Plant Physiol.* 144: 613-616.

- Vázquez-Flota, F. M. Carrillo-Pech, Y. Minero-García y M. L. Miranda-Ham. 2004. Alkaloid metabolism in wounded *Catharanthus roseus* seedlings. *Plant Physiol. Biochem.* 42: 623-628.
- Vázquez-Flota, F. y M. L. Miranda-Ham. 2006. Secondary metabolism in *Catharanthus roseus* (Apocynaceae). En: Teixeira da Silva, J. A. (ed.). *Floriculture Ornamental and Plant Biotechnology Vol. IV: Advances and Topical Issues*. Global Science Books. Londres. pp. 529-540.
- Vázquez-Flota, F., M. Monforte-González, M. Méndez-Zeel, Y. Minero-García and V. M. Loyola-Vargas. 2000. Effects of the nitrogen source on alkaloid metabolism in callus culture of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. *Phyton.* 66: 155-164.
- Vázquez-Flota, F., O. Moreno-Valenzuela, M. L. Miranda-Ham, J. Coello-Coello, and V. M. Loyola-Vargas. 1994. Catharanthine and ajmalicine synthesis in *Catharanthus roseus* hairy root cultures. Medium optimization and elicitation. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.*, 38: 273-279.
- Vázquez-Flota, F., V. De Luca, M. R. Carrillo-Pech, A. Canto-Flick y M. L. Miranda-Ham. 2002. Vindoline biosynthesis is transcriptionally blocked in *Catharanthus roseus* cell suspension cultures. *Mol. Biotechnol.* 22: 1-8.
- Velasco-Rodríguez, M. C. 1987. Actividad de las enzimas del metabolismo nitrogenado y contenido de alcaloides durante el ciclo de crecimiento de cultivos *in vitro* en *Catharanthus roseus*. UNAM. México, D.F. 67 p.





## Jardín Botánico Regional del CICY

*Roger Orellana, Patricia Colunga y Sigfredo Escalante*

El establecimiento del Jardín Botánico Regional ha sido fruto del trabajo y la colaboración de mucha gente, por lo que merece la pena contar su historia.

En marzo de 1982, con la venia del Director General, se inició el reconocimiento del terreno en el que se establecería el Jardín Botánico Regional (JBR). Las primeras labores las iniciamos con dinero del BID y la asesoría del Dr. Hermilo Quero, en aquel entonces Director del JB de la UNAM. El terreno era una antiguo plantel de henequén cubierto por un matorral bajo. Con ayuda de los intendentes del Centro, se inició el diseño de los primeros camellones, procurando conservar lo que en el futuro sería la representación de la selva baja caducifolia o *arboretum*. Al siguiente año se contó con presupuesto del Conacyt, iniciándose formalmente el establecimiento del JBR con la participación entusiasta de todos los miembros del entonces Departamento de Ecología, quienes invirtieron largas jornadas de trabajo. Como objetivo inicial, se planteó “establecer una exhibición permanente de plantas vivas para difundir la importancia científica, socioeconómica y ecológica de la flora nativa de la Península, así como la infraestructura necesaria para la realización de actividades de aclimatación, propagación y experimentación con especies vegetales”. Las bases teóricas y prácticas para establecer el Jardín se adquirieron con la participación en el curso “Horticultura para jardines botánicos” que impartían Graham Pattison y Andrés Vovides en el JB Clavijero del INIREB (ahora adscrito al Instituto de Ecología, A.C.). Además, se siguieron los criterios de Ángela Leiva, Directora del JB Nacional de Cuba en cuanto al tipo de colecciones posibles de establecer, a saber: 1) taxonómicas, 2) ecológicas, 3) fitogeográficas y 4) socioeconómicas. Con estos criterios se delimitaron dos grandes áreas: colecciones y experimental. En la primera se establecieron las colecciones: *arboretum*, agaváceas, palmeras, cactus y orquídeas, utilizando las plantas que se desarrollaban naturalmente en el área elegida, y con los ejemplares colectados en diver-

sos puntos de la Península. En la segunda se establecieron sombreaderos y viveros rústicos. Con la conformación de la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos en 1985, participamos en la corriente que generó en el país gran entusiasmo en el tema. En esta etapa inicial (1981-1986), trabajaron en el JBR Roger Orellana, Verónica Franco y Lina Ojeda, apoyados por los estudiantes Eleuterio Góngora y Ricardo Molczadzki. En 1985, Ojeda y Franco se marcharon a realizar sus estudios de maestría e ingresó Tomás González, quien participó en el desarrollo del área experimental y en la construcción del estanque.

A finales de 1986, Roger emigró a realizar el doctorado y Patricia Colunga tomó la dirección del JBR de 1986 a 1991; obtuvo un segundo financiamiento del Conacyt, y con ello propició la entrada de Sigfredo Escalante, Goretí Campos, Nancy Ayora y Paulino Simá. Durante este periodo se establecen cuatro nuevas colecciones: matorral de dunas costeras, plantas acuáticas, plantas epífitas y ornamentales y se reorganizó y amplió la de agaváceas. Después del huracán Gilberto, en septiembre de 1988, la Secretaría de Ecología estatal demandó un proyecto de producción de plantas nativas para recuperar las áreas devastadas por el meteoro, con lo que se estableció el vivero de propagación de plantas nativas que desde entonces suministra plantas para las colecciones, los planes de reforestación y la venta al público. Además, se inició formalmente el Programa de Educación Ambiental, también con financiamiento de la Secretaría de Ecología estatal, con actividades como el curso taller para maestros “El JBR como herramienta didáctica”, guías para maestros de niveles básicos y medio, cursos de verano para niños, guías de recorrido, el boletín del JBR, cápsulas informativas para radio y televisión, y las visitas guiadas. Ante un auge en el CICY de la propagación clonal y transferencia a campo de plantas propagadas *in vitro*, el área experimental fue incorporada al Departamento de Biotecnología. Destaca en este periodo la cesión del Gobierno del Estado de 1.2 hectáreas para ampliar el JBR, ubicadas en la esquina suroeste del Centro. Durante 1991 Colunga obtuvo un tercer financiamiento de Conacyt para desarrollar la colección de plantas medicinales, con lo que ingresa Martha Méndez al Jardín. Asimismo, obtuvo un financiamiento del Programa Nacional de Solidaridad para continuar con la propagación de plantas nativas y otro de las secretarías estatales de Educación y de Ecología para continuar con las labores de difusión, educación ambiental y apoyo a la enseñanza.

A mediados de 1991, Patricia se fue a estudiar su doctorado, quedando Sigfredo como responsable del JBR y Rafael Durán como responsable del proyecto de propagación. Entre 1991 y 1994, se obtuvieron financiamientos (Secol, Segey y Cultur) que permitieron el ingreso de José Antonio González, Ernestina Piña, Wilberth Canché y el reingreso de Verónica Franco. Se desarrollaron tres nuevas colecciones: plantas medicinales, selva baja espinosa, comelináceas, se remodeló la de cactáceas y se amplió la de palmeras. Se incrementó el programa de visitas guiadas, se mantuvieron los cursos para maestros y se produjeron diversos materiales didácticos y de difusión como la guía general, la guía de cactus, folletos, carteles y videos. En 1992, el vivero de plantas nativas comenzó a operar de forma independiente, lo que obligó a formar otra área de propagación y aclimatación para las necesidades del JBR.

A finales de 1994 regresó Orellana y tomó nuevamente la dirección del JBR hasta el año 2002. En este periodo contó con el apoyo de Sigfredo Escalante (quien fue de 1996 a 1997 a realizar estudios de doctorado), Lilia Carrillo, Verónica Franco, Minerva Alonso y Beatriz Carcaño, así como con financiamientos del PNUD, Semarnap y Pronare.

En este lapso se logró rotular una gran cantidad de plantas y se siguió aumentando el número de colecciones, tales como las palmeras sustitutas del ratán, los frutales nativos, las rupícolas y las bromeliáceas terrestres, y se transformaron otras: la de ornamentales introducidas en jardín preescolar, una sección del matorral de dunas en jardín oriental y sobre la estructura de las epifitas se montaron las trepadoras. En 1999 el JBR fue declarado Museo Vivo de Plantas por la Semarnap. Hacia el 2000, con una serie de colectas en el sur de Quintana Roo, se estableció la nueva colección de selva húmeda, y muy cerca de ella, otra representativa de la vegetación de los llamados petenes.

Del 2002 hasta 2008, Escalante tomó nuevamente a su cargo la dirección del JBR y contó con el apoyo de Wilberth Canché, Paulino Simá, María Romero y Verónica Franco. En este periodo se estableció la nueva colección de plantas endémicas y el vivero se reintegró al JBR. Desde entonces, ha habido un incremento sostenido en los ingresos por ventas. En septiembre de 2002, el huracán Isidoro causó considerables daños que obligaron a cerrar el JBR por ocho meses para su rescate. También en 2002 se elaboró el plan estratégico del JBR que incluyó un análisis FODA y la

definición precisa de objetivos, metas y estrategias a largo plazo, así como la misión, visión y cuellos de botella a resolver, más una serie de documentos-proyectos, que han permitido mejorar los procedimientos técnicos y administrativos. Como producto de esta planeación, en el 2005 se inició la base de datos del JBR que incluye la determinación, evaluación y ubicación precisa de todos los individuos perennes mayores de 50 cm presentes. A la fecha, el total evaluado es de 13 mil individuos en el 77 por ciento de su superficie. La información generada es crucial para la toma de decisiones en cuanto a las especies sobre o pobremente representadas y permitirá conocer a los curadores información relevante para el manejo del JBR como procedencias, abundancia, ubicación y crecimiento, además de facilitar el análisis espacial y temporal para el manejo de individuos, especies y colecciones, tanto en aspectos de conservación como en el mejoramiento del diseño del paisaje y funcionalidad para los visitantes.

Actualmente, el JBR cuenta con cuatro académicos y cuatro jardineros de base, 2.2 Ha de colecciones en exhibición, 0,4 Ha de viveros, 2 km de senderos, una palapa, una bodega, dos pozos y una red hidráulica. No obstante, el principal recurso es el contenido o acervo, que consiste en 24 colecciones que incluyen alrededor de 15 mil individuos perennes, 111 familias botánicas, 438 géneros y 698 especies; de estas últimas, 57 son endémicas y 27 están consideradas oficialmente como amenazadas.

Un aspecto fundamental es que el JBR no solamente ha apoyado los trabajos de los investigadores y estudiantes, sino que ha sido una ventana e icono del Centro hacia la sociedad meridana y ha tenido un efecto multiplicador. Esto último se refiere, por un lado, a que ha propiciado el establecimiento de nuevos jardines botánicos o colecciones afines en la región peninsular, como los de El Carmen, Camp., Xcaret, Q. Roo, y en Yucatán, los de las grutas de Balankanché, el Sendero Botánico George Gaumer-Itzamatul en Izamal, el Parque Recreativo de Oriente en Mérida, el Parque Botánico Anikabil y el JBR del Siidetey, en Mérida; por otro lado, a través del vivero y de cursos de propagación, se ha incidido en que los viveristas regionales propaguen especies nativas incluídas algunas que antes eran objeto de extracción ilegal del ambiente silvestre.

A la fecha se trabaja en varios aspectos estratégicos como son: la conclusión de la base de datos, la construcción de un centro de atención a visitantes para incrementar su número, ofrecer-

les una atención de la mejor calidad y escalar la apertura del JBR a todo el año, incrementar el número de jardineros, incrementar la generación de ingresos para reinvertir en los programas sustantivos, mejorar el diseño paisajístico y funcional, fomentar el desarrollo de jardines satélites y participar con eficacia en la Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos a la cual se pertenece y deriva de la Estrategia Global para la Conservación Vegetal.

Consideramos que la misión del JBR definida como “Promover el uso y conservación de los recursos vegetales regionales para el bienestar social, a través de la exhibición de colecciones vivas, el apoyo a la investigación científica y la formación pública de valores ambientales, dentro del marco conceptual de la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible” se ha cumplido, aunque resta aún mucho por hacer.

Lo que un principio fue una idea difícil de imaginar realizada, hoy se ha convertido en colecciones científicas vivas, experiencia y capacidad para apoyar y fomentar diversas actividades de conservación y desarrollo relacionadas a los recursos vegetales nativos de la Península.



# **Veinticinco años de altibajos en la investigación sobre *Agave tequilana* para la industria tequilera**

*Manuel Robert*

## **La vinculación de la academia con la industria**

Las relaciones de la academia con el sector privado en México nunca han sido fáciles. Para los académicos, por un lado, representan un cambio importante de actitud, pues implican el compromiso de alcanzar metas en tiempos preestablecidos y la confidencialidad con que deben tratarse los resultados, y esto es algo a lo que no estamos acostumbrados. Para la industria, por otra parte, implica el raro convencimiento de que la incorporación de nuevas tecnologías a sus procesos es una inversión y no un gasto, y lo más difícil de todo, confiar en la visión de científicos que no prestan mucha atención a sus problemas, y en muchas ocasiones, ofrecen soluciones a problemas inexistentes.

Subsanar lo anterior requiere de un interlocutor que hable ambos idiomas y que conozca ambos ambientes. El éxito de la relación con Tequila Herradura ha sido, precisamente, la presencia de dicho interlocutor en la empresa. Primero, Miguel Cedeño, y más tarde, Aideé Orozco —quienes al igual que Fernando García en el caso de Bioquimex (ver “El mejoramiento genético del cempasúchil” en este mismo capítulo), provenían del mundo académico— fueron piezas clave en el desarrollo de las relaciones. Estos interlocutores conocen el potencial de la innovación, y al mismo tiempo, velan por los intereses de la compañía y gozan de la confianza de los directivos y/o los dueños, lo que les permite convertirse en promotores tecnológicos efectivos.

El fracaso en el caso del henequén (ver “El cultivo *in vitro* para el mejoramiento de la productividad de las plantaciones de henequén: uno de los primeros objetivos del CICY” en el Cap. 5 de la Primera Parte de este libro) como lo fue en tantos otros a lo largo de la historia del CICY (producción de ornamentales, de sábila,

etc.) se deben, entre otras cosas, a la falta de dicho promotor en el lado industrial.

Lo anterior no quiere decir que todo haya sido coser y cantar. Son tantas las personas involucradas y tan disímiles sus personalidades, intereses y vanidades, que todo puede ocurrir, y de hecho, eventualmente ocurre.

Lamento ahora no haber atendido el consejo de mi amigo el Dr. Alfredo Gallegos, científico de formación y emprendedor pragmático y exitoso por talento propio, quien conoce y entiende a ambas partes y quien, tal vez por esa razón, se integra él solo y atiende todos los aspectos de su empresa desde la tecnología hasta las ventas. Alfredo me recomendó reiteradamente que escribiera las experiencias y anécdotas de mi relación con las empresas: “Todo esto se va a perder y nadie aprenderá de tus experiencias”. No creo que nadie vaya a aprender de ellas, pues en este campo es más válido que nunca, aquello de que “nadie experimenta en cabeza ajena”. Pero al menos, el CICY debió haber aprendido algo. La historia de la relación del CICY con la industria tequilera podría ser un recuento de los errores que pueden cometerse en los acuerdos e implementación de proyectos. Lo malo es que ahora he olvidado muchas cosas que debería tener presentes en las nuevas relaciones con el sector productivo.

### **Tequila Cuervo**

En enero de 1985, el Dr. Howard Scott Gentry, tal vez el investigador que más ha contribuido al estudio de los agaves y con quien habíamos establecido una muy buena relación a raíz de su participación en la primera reunión en Mérida, me invitó a una reunión sobre la biología de los agaves en el Jardín Botánico del Desierto en la Universidad de Phoenix, Arizona, en la que presenté los avances sobre la aún incipiente investigación en el CICY (Cruz *et al.*, Agave research). Al término de mi plática se me acercó el Ing. Miguel Apodaca de la Compañía Tequila Cuervo, quien se encontraba en los Estados Unidos buscando tecnología como la que acababa yo de presentar. Luis del Castillo, quien estaba también presente en Phoenix, promovió de inmediato una colaboración y un año más tarde iniciábamos las primeras investigaciones sobre *Agave tequilana* en el CICY con un proyecto cofinanciado por el Conacyt.





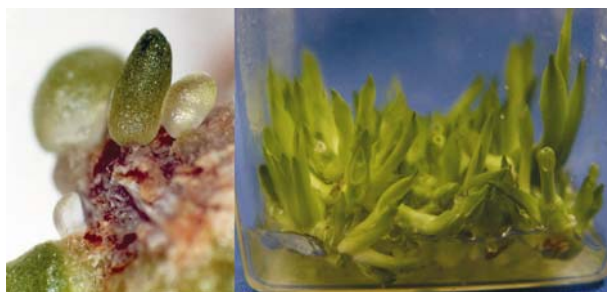
Portada del número especial de la revista *Desert Plants* con los trabajos del Simposio sobre el género *Agave* que se llevó a cabo en Phoenix, Arizona en 1985. En la foto, el Dr. Howard Scott Gentry, el investigador que más contribuyó al estudio de este grupo de plantas.

El proyecto consistía en el desarrollo de un sistema de micro-propagación de *Agave tequilana*, el diseño de un laboratorio en las instalaciones de La Riojeña y la transferencia de la tecnología a la compañía. El proyecto se desarrolló sin mayores problemas gracias a la experiencia que habíamos obtenido con henequén. La compañía implementó el laboratorio, que quedó a cargo del Ing. Antonio Olvera (amigo de grata memoria) y se inició la transferencia.



a) Primera visita a las plantaciones de tequila; b) Park Nobel, quien estaba también realizando investigaciones en las plantaciones; c y d) imágenes del laboratorio de cultivo *in vitro* de la Compañía Tequila Cuervo. En ambas fotos, el Ing. Antonio Olvera.

Aprendimos mucho sobre cultivo *in vitro* de agaves durante este periodo. El equipo que participó en el desarrollo del proyecto incluyó a José Luis Herrera, Carlos Talavera y Andrés Quijano Ramayo.



Primeros cultivos *in vitro* de *Agave tequilana*.

Por motivos que nos son desconocidos, Miguel Apodaca dejó repentinamente la compañía. Sabemos que en el sector gubernamental la llegada de un nuevo funcionario activa de manera automática un principio operativo fundamental: “todo lo que hizo mi predecesor no sirve para nada”, aunque uno esperaría que esto no ocurriera en una empresa privada, la persona (de cuyo nombre no me acuerdo ni quiero acordarme) que sustituyó a Miguel Apodaca se dedicó en cuerpo y alma a implementar dicho principio y me informó que la tecnología no servía para nada, que no le interesaba a la compañía y que no nos pagarían lo que nos debían. Mi postura fue que yo podía aceptar que la compañía cambiara sus estrategias pero que no aceptaba su dictamen y que solicitaría una evaluación del Conacyt, quien había aportado parte del financiamiento. Me pareció raro que tal decisión hubiese sido tomada sin haberle dado oportunidad a la tecnología, ya que el laboratorio fue cerrado sin haber empezado a funcionar en forma (operó brevemente con estudiantes que trabajaban tiempo parcial y mostraban poco interés en aprender) y las pocas plantas producidas estaban aún muy lejos de llegar al campo. Al final, se dio por terminada la relación de manera más o menos amigable y el CICY quedó libre para relacionarse con otros usuarios.

### **Tequila Herradura**

Casi al mismo tiempo, en 1988 los hermanos Guillermo y Pablo Romo se interesaron por los trabajos sobre henequén que vieron en un programa de televisión y un buen día nos visitaron en el CICY. Obviamente les gustó lo que vieron, ya que éste fue el principio de una larga e interrumpida colaboración que se caracterizó por una indefinición de objetivos y metas. Los Romo estaban interesados, pero no lo suficiente para apostar contundentemente por la generación de líneas elite y el establecimiento de plantaciones en gran escala. Había también gente dentro de la compañía a quienes no les gustaba esta iniciativa. Sin embargo, se estableció un primer laboratorio, se sembraron las primeras pruebas de campo y se sentaron las bases de una relación que, como ya dijimos, es hoy más estrecha que nunca.



Las primeras plantas micropropagadas de tequila en los viveros del CICY. a) vista general; b) plántula micropropagada; c) visita del Sr. Pablo Romo al CICY que dio inicio a la colaboración con Tequila Herradura.

Algunos años más tarde, al desatarse la epidemia de la podredumbre del tallo que afectó a la industria en los años noventa, Guillermo Romo y Miguel Cedeño me llamaron como asesor de la compañía e iniciamos una nueva etapa de cooperación que, aunque incipiente, sirvió para restablecer el contacto con la compañía.

### Una nueva etapa

Con la llegada de la Dra. Aideé Orozco como Gerente de Investigación y Desarrollo, empezó una nueva etapa de colaboración que continúa aún. Se inició con dos proyectos de investigación dirigidos a dar respuesta a problemas específicos de la industria: El empleo de biorreactores modulares para facilitar el escalamiento del proceso de propagación clonal y el desarrollo de un método para la identificación inequívoca de la “variedad” azul empleando marcadores moleculares. Se implementó, también, una nueva etapa de evaluación del desempeño en campo de líneas clonales, todo lo cual sentó las bases para la investigación actual.

En 2006, Brown Forman compró Tequila Herradura y poco sucedió durante el periodo de transición hasta que en octubre de 2007 se reactivaron las actividades con una serie de sesiones de análisis de la problemática de producción en campo.



a y b) Los hermanos Pablo y Guillermo Romo durante la primera selección de materiales elite en las plantaciones de Tequila Herradura; c) primera plantación experimental con materiales clonales en la Hacienda de San José del Refugio, en Amatitán, Jalisco.

### **La plataforma de selección de agaves**

Dentro de este esquema, en enero de 2008 se presentó a la nueva directiva de la compañía (Brown Forman) una visión de futuro para incrementar la productividad de sus plantaciones a través de un programa multidisciplinario de selección y clonación de individuos elite. La propuesta, basada en las experiencias de años de investigación con agaves comerciales que el CICY ha desarrollado con las industrias henequenera y tequilera, muestra claramente los beneficios que pueden derivarse de la investigación científica aplicada. La propuesta fue recibida con entusiasmo y dio origen al establecimiento, dentro de la compañía, de una “Plataforma de selección de plantas elite” que se desarrolla con la colaboración

del CICY, la cual incluye una parte muy importante de estudios de campo así como de experimentación en el laboratorio.

En diciembre del 2008 se firmó un convenio por los primeros tres años (la plataforma está programada a 10 años) y en enero de 2009 se dio inicio oficialmente a las investigaciones. En el desarrollo de la plataforma participan, por parte de empresa, la Dra. Aideé Orozco y los Dres. Juan José Jiménez, Gerente de Fisiología y Salud del Agave, y Theo Liutas, Vicepresidente de Investigación y Desarrollo. El equipo del CICY está conformado por los Dres. Felipe Sánchez, Jorge Santamaría y Manuel Robert, y participan también Miguel Ángel Herrera, José Luis Herrera, Francisco Espadas, Carlos Talavera, Adriana Quiroz, Leonardo Gus y un equipo grande de técnicos.

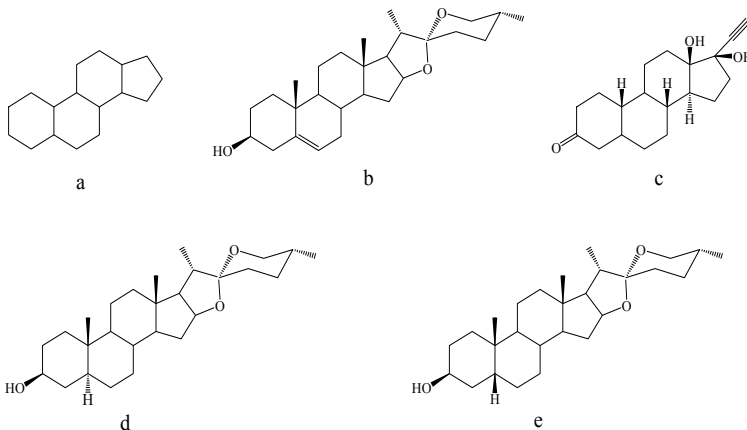
El tequila continúa siendo un distintivo nacional y uno de los principales productos de exportación agroindustrial que genera riqueza para México, y trabajar para este fin ha sido siempre muy satisfactorio. Esperemos que, después de tantos años de trabajos incompletos e interrumpidos, esta iniciativa se convierta en un modelo de vinculación y transferencia tecnológica entre la academia y la industria, no sólo por los objetivos aplicados que deberán generar beneficios económicos, sino por la complementación científica y operativa con la que se desarrolla.

Salucita.

# Esteroides

M. Marcela Gamboa Angulo y Leonardo Gus Peltinovich

La palabra esteroide proviene del vocablo griego *stereo*, que significa sólido, término que se aplica a los compuestos cuya estructura química contiene el núcleo del ciclopentano-perhidro-fenantreno, correspondiente a tres anillos de ciclohexano fusionados con un ciclo-pentano (Fig. 1a). Estas sustancias son producidas por los mamíferos y cumplen funciones fisiológicas diversas, tales como la regulación de la secreción de bilis y de hormonas, así como formar parte de las membranas celulares (Kline, 1970).

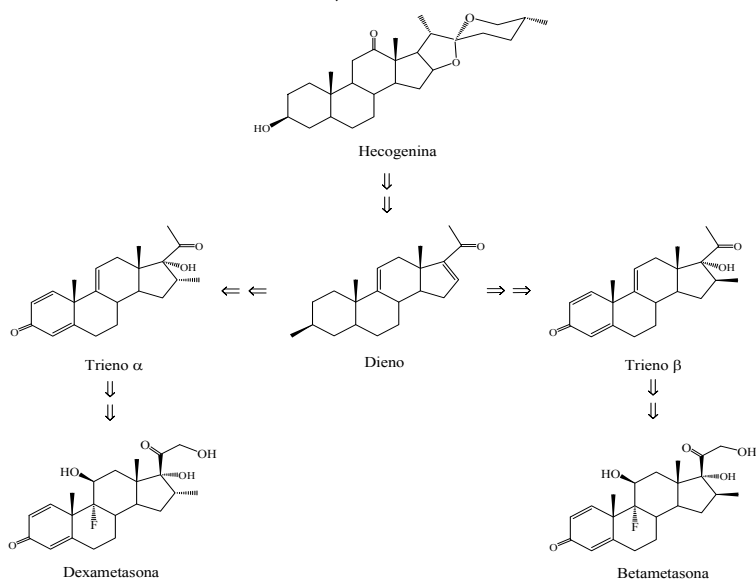


**Figura 1**

El hombre, a su vez, ha utilizado los compuestos esteroidales con diferentes fines terapéuticos. Sin embargo, la obtención de estos productos a partir de órganos animales era muy difícil. El problema se resolvió cuando, en 1941, Russell Marker sintetizó por primera vez la progesterona utilizando como materia prima a la diosgenina (Fig. 1b), una sapogenina esteroideal aislada del “barbasco” (*Dioscorea composita* Hemsl), planta silvestre de México (Hinke, 1997). A partir de entonces fue desarrollado un gran número de derivados esteroidales con diversas aplicaciones terapéuticas de gran interés para la industria farmacéutica. Entre estos derivados, la noretisterona (Fig. 1c), base de los anticonceptivos orales, fue

sintetizada por primera vez por los laboratorios Syntex, S.A. en México (Djerassi *et al.*, 1956), lo que llevó al país a figurar como líder del área en la década de los 60's, con un gran mercado.

Todo esto implicó la realización de una intensa búsqueda de sapogeninas esteroidales producidas naturalmente en las plantas, encontrándose como una fuente importante al género *Agave* (Blunden *et al.*, 1980; Gentry, 1982). Entre éstos, el *Agave fourcroydes* Lem. y el *Agave sisalana* Perrine poseen altas cantidades de hecogenina (Herz, 1985; Cáceres Farfán y Flores Lara, 1990), una sapogenina con un grupo cetona en posición C-12, lo cual la hace altamente apreciada para la obtención de compuestos de tipo corticoide —también denominados corticosteroides— como la betametasona (Fig. 2). Las propiedades desinflamatorias e inmunosupresoras de estos esteroides las hacen muy efectivas en el tratamiento de enfermedades crónicas como artritis y psoriasis, así como en los trasplantes de órganos, disponiendo de un amplio mercado a pesar de sus efectos secundarios (Butoescu *et al.*, 2009; Strowd *et al.*, 2008).



**Figura 2**

En Yucatán, el proceso de desfibrado de las hojas del henequén (*A. fourcroydes*) generaba grandes cantidades de jugo con residuos sólidos, cuyo proceso de fermentación natural originaba un precipitado denominado “harina de henequén”, constituido por las sapoge-



ninas esteroidales. Esta harina se encontraba enriquecida principalmente con hecogenina y tigogenina (Fig. 1d) en concentraciones del 5.2% (Herz, 1985; Cáceres Farfán y Flores Lara, 1990).

Con estos antecedentes y dada la gran cantidad que se obtenía de este subproducto, en 1984 la empresa paraestatal Cordemex y el CICY iniciaron un proyecto en colaboración dirigido hacia la obtención de la hecogenina y sus derivados esteroidales de alto valor agregado. Este proyecto se encontraba enmarcado en la búsqueda de la diversificación de las aplicaciones de la fibra del henequén y sus desechos, para afrontar la marcada disminución de su demanda en el mercado mundial. La competencia de las fibras sintéticas, desde tiempo atrás, estaba desplazando a esta fibra en la fabricación de hilos y sogas, uno de sus usos tradicionales.

Con este proyecto se inauguró el Departamento de Química Aplicada del CICY. El mismo se inició a escala de laboratorio bajo la denominación “Obtención de glucocorticoides a partir de la harina de henequén” y estuvo a cargo de José Vinicio Torres Muñoz y Carlos Cruz Ramos. Posteriormente, durante el periodo 1986-1991 otros proyectos se derivaron de éste: “Obtención de dehidrohecogenina por bromación/dehidrobromación de hecogenina”, “Obtención de 3 $\beta$ -acetoxi-9,11,16-pregnadien-20-ona dieno (Acetato de DIENO) a partir de dehidrotigogenina, (DHT) usando anhídrido acético (acetólisis)”, “Síntesis de prednisona a partir de pregnadienolona”, “Síntesis de 16 $\beta$ -metil-pregna-1-4-9(11)-trien-17 $\alpha$ -hidroxi-3,20-diona (TRIEÑO) a partir del acetato de 3 $\beta$ -hidroxi-pregna-9(11),16-dien-20-ona (DIENO) y “Síntesis de 17 $\alpha$ -hidroxi-16-metilpregna-1,4,9(11)-trien-3,20-diona”, los que estuvieron bajo la dirección de Jorge Reyes López, con la participación de Miguel Lazcano Seres, Ángel Trigos Landa, Luis Manuel Peña Rodríguez y Cirilo García Martínez.

Los resultados condujeron a la obtención de los intermedios y de una ruta común de síntesis para dexametasona y betametasona (Fig. 2), con alta pureza y un rendimiento global del 10%, cumpliéndose con los objetivos planteados inicialmente. Sin embargo, debido a que la harina de henequén contenía otras sapogeninas, al ser éstas sometidas a reacción afectaban el rendimiento y los costos del producto final, lo que obligó a continuar los procesos de optimización de las reacciones a escala de laboratorio.

En forma paralela, durante este periodo se realizaron pruebas de escalamiento de los pasos de síntesis en Cordemex, en una planta piloto financiada por el Conacyt a través de un convenio de

riesgo compartido entre esta empresa y el CICY. En una primera etapa, el escalamiento se dirigió a la obtención de 16-dehidropregnanolona (DHP) a partir de hecogenina, bajo la supervisión y dirección de Leonardo Gus Peltinovich y Luis Flores Pren. Este objetivo se alcanzó de manera exitosa, continuándose posteriormente con el escalamiento de otros procesos de síntesis y de los procedimientos de purificación. Más adelante, Cordemex construiría una planta piloto para la obtención de hecogenina a partir de la harina de henequén, con el propósito de contar con un mayor volumen de materia prima y para evaluar la factibilidad de su comercialización.

Los problemas asociados con la purificación, tanto de la hecogenina como de los productos intermedios llevaron a realizar proyectos que proponían rutas alternativas de síntesis. Algunos de estos procesos se lograron llevar a escala piloto o semi industrial tanto en el CICY como en Cordemex. Desafortunadamente, en 1990, coincidiendo con el desarrollo del Programa de Reordenación Henequenera llevado a cabo por el gobierno del Estado, tuvo lugar la desincorporación de Cordemex y la suspensión definitiva de los proyectos de transformación de la hecogenina del henequén en esteroides de alto valor farmacológico.

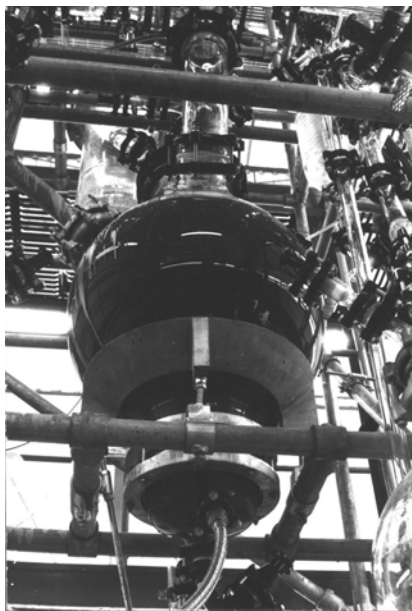
El trabajo llevado a cabo en el CICY con estos proyectos impulsó a "La Forestal", una federación regional de sociedades cooperativas de Saltillo, Coahuila, a solicitar el desarrollo de un proceso para la obtención y transformación de la esmilagenina (Fig. 1e) a dieno a partir de los desechos de la obtención del ixtle, la fibra de la lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr.). El convenio de colaboración se celebró en 1990 entre el CICY y esta empresa, para que "el Centro estudie y transfiera a La Forestal una metodología para la obtención de 16-dehidropregnanolona a partir de esmilagenina". Este convenio dio origen al proyecto "Extracción, determinación y cuantificación de la esmilagenina contenida en el guishe de lechuguilla (bagazo), explorando su posible transformación al intermediario 16-dehidroprogesterona". La factibilidad a escala industrial de la transformación de este desecho agrícola en 16-DHP quedó demostrada con el escalamiento a nivel piloto que se llevó a cabo en una planta de procesamiento del guayule, perteneciente a la Comisión Nacional de Zonas Áridas (Conaza) en Saltillo, Coahuila.

El rendimiento y grado de pureza de la esmilagenina obtenida del bagazo del ixtle estaban señalando la importancia de continuar

los estudios para optimizar su obtención, transformación y eventual uso en la industria. Recientemente, la literatura ha reportado procesos de extracción y cuantificación indirecta de la esmilagenina a partir del *A. lecheguilla*, indicando rendimientos menores a los obtenidos en nuestros laboratorios (Archivos CICY; Hernández *et al.*, 2005). Sin embargo, por razones no conocidas, “La Forestal” no transformó los resultados obtenidos en un proyecto productivo ni continuó interesada en la obtención de otros derivados esteroidales a partir de este desecho agroindustrial.

Muy importante es mencionar que las sapogeninas esteroideas y sus derivados continúan siendo utilizados en la industria farmacéutica, reportándose nuevas aplicaciones terapéuticas. Tal es, precisamente, el caso de la esmilagenina, la cual está siendo utilizada junto con la anzurogenina-d en tratamientos contra la enfermedad de Alzheimer (Xia *et al.*, 2007).

En conclusión, el desarrollo de estos proyectos estableció métodos y procedimientos confiables y reproducibles a escala de laboratorio y semi industrial para el aprovechamiento de dos subproductos agrícolas generados por el desfibrado del *A. lecheguilla* y del *A. fourcroydes*, ambas especies características de dos regiones del país en las que ha sido tradicional su cultivo destinado a la obtención de fibras duras.



## Referencias

- Archivos Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Blunden, G., C. A. Carabot y K. Jewers. 1980. Steroidal saponinins from leaves of some species of *Agave* and *Fourcraea*. *Phytochemistry*. 19:2489-2490.
- Butoescu, N., C. A. Seemayer, M. Foti, O. Jordan y E. Doelker. 2009. Dexamethasone-containing PLGA superparamagnetic microparticles as carriers for the local treatment of arthritis. *Biomaterials*. 30:1772-1780.
- Cáceres Farfán, M. y R. Flores Lara. 1990. Aislamiento e identificación de saponinas esteroidales contenidas en el *Agave fourcroydes* Lemaire variedades *Yax-Ci* y *Citam-Ci*. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Djerassi, C., L. Miramontes and G. Rosenkranz. 1956. Delta 4-19-nor-17alpha-ethinylandrosten-17beta-ol-3-one and process. United States Patent 2744122.
- Gentry, H. S. 1982. *Agaves of continental of America*. University of Arizona Press, Tucson Arizona, E.U.A.
- Hernández, R., E. Lugo, L. Díaz y S. Villanueva. 2005. Extracción y cuantificación indirecta de las saponinas de *Agave lecheguilla* Torrey. *e-Gnosis* 3 art 11.
- Herz, J. F. 1985. Modificación y recuperación de esteroides del henequén. En: Cruz, C., L. Del Castillo, M. Robert M. y R. N. Ondarza (eds.). *Biología y aprovechamiento integral del henequén y otros agaves*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. México. pp. 169-174.
- Hinke, N. 1997. El barbasco. *Ciencias*. 48:28-31.
- Kline, W. 1970. *Química de los esteroides*. Editorial Continental, S.A. España.
- Strowd, L. C., B.A. Yentzer, A. B. Fleischer Jr. y S. R. Feldman. 2008. Increasing use of more potent treatments for psoriasis. *J. Amer. Acad. Derm.* 60:478-481.
- Xia, Z., Y. Hu, I. Rubin, J. Brostoff, B. Whittle, W. Wanf y P. Gunning. 2003. Esmilagenina y anzurogenina-d para el tratamiento de enfermedad de Alzheimer. United States Patent 20030118673.

# Programa de investigación sobre amarillamiento letal y cocotero

*Carlos Oropeza Salín y Daniel Zizumbo Villarreal*

## **Introducción**

El cocotero en México es fuente de ingresos para cerca de 50,000 familias, cuenta con una superficie cercana a 100,000 Ha (Conacoco, [www.conacoco.com.mx](http://www.conacoco.com.mx)). Su fruto se aprovecha en cada una de sus partes, incluyendo el aceite virgen, agua empacada, carbón activado, fibras en autopartes y polvillo en horticultura. Además, en un producto con alto potencial: el coco-biodiesel (obtenido a partir de su aceite), usado como aditivo que mejora el desempeño del diesel fósil y elimina significativamente las emisiones nocivas, contribuyendo a mejorar el ambiente.

Problemas importantes afectan a la cadena productiva del cocotero. Las plantaciones son viejas y están afectadas por diferentes enfermedades y plagas. La enfermedad más importante es el amarillamiento letal (AL), causada por fitoplasmas, que ha matado a millones de plantas en diferentes países en Latinoamérica y el Caribe. En México se reportó en 1977, y a finales de la década de los ochenta se le identificó como un tema prioritario de investigación para nuestro país, adoptándose en CICY como línea estratégica a raíz de la reunión internacional “La Problemática del Amarillamiento Letal en México” (Robert y Zizumbo, 1990). En esta reunión se definieron las estrategias para enfrentar a esta enfermedad: Conservación, mejoramiento y utilización de la diversidad genética del cocotero, y la implementación de un sistema de manejo integral de la enfermedad. El programa de investigación quedó conformado por tres líneas: a) búsqueda de germoplasma de cocotero resistente al AL, caracterización, y evaluación productiva; b) desarrollo de protocolos de mejoramiento y micropropagación, c) estudio de la enfermedad para su mejor entendimiento. Se consideró muy importante que el programa tuviera un enfoque multidisciplinario e interinstitucional, y con una interacción estrecha con los sectores productivo y oficial. Aquí se resumen los logros del Programa del Cocotero en

el CICY desde su inicio, incluyendo sus aportaciones prácticas y las perspectivas tanto de investigación como de impacto.

## 2. Resultados y aportaciones

### 2.1. Recursos Genéticos

#### BÚSQUEDA DE GERMOPLASMA RESISTENTE

Ante la ausencia de germoplasma probado como resistente en el mundo y ante imposibilidad de importación debido a las leyes fitosanitarias establecidas en el país por la amenaza del Cadang-Cadang presente en la región del Pacífico, enfermedades tipo AL en África y el AL en el Caribe, se realizó en 1989 una exploración y colecta de germoplasma. Con base en una caracterización *in situ*, se colectaron 18 poblaciones representativas de las costas del Pacífico Mexicano y dos del Golfo de México, que fueron establecidas en lotes experimentales en áreas de alta incidencia del AL en la costa norte de Yucatán en 1992. Por 20 años se registró la mortalidad debida al AL, observándose una respuesta diferencial entre las poblaciones (Zizumbo *et al.*, 2008). Los estudios incluyeron caracterización morfológica, fisiológica, genética, molecular y de productividad, permitiendo identificar cinco ecotipos: Enano Malayo, Alto del Atlántico y tres Altos del Pacífico (AP), designados como AP1, AP2 y AP3. Asimismo, se estimaron los niveles de diversidad y relaciones filogenéticas con el germoplasma mundial, estableciendo marcadores moleculares de resistencia-susceptibilidad al AL (Zizumbo *et al.*, 2006).

#### UTILIZACIÓN DEL GERMOPLASMA RESISTENTE

Con base en la información generada se inició el mejoramiento, la propagación y el Programa Nacional de Replantación conducido por el Consejo Nacional del Cocotero en el 2004 (Conacoco, [www.conacoco.com.mx](http://www.conacoco.com.mx)). La replantación se inició utilizando huertas semilleras en las poblaciones que resultaron resistentes y el establecimiento de protocolos para la selección de planta con alta productividad y selección de plantas con alto desempeño en vivero. A la fecha, con la colaboración con los Consejos Estatales de Colima, Michoacán, Veracruz, Tabasco y Yucatán se ha logrado establecer cerca de medio millón de plantas en los últimos cuatro años.

Utilizando progenitores resistentes altos elite se formaron híbridos inter-ecotípicos Enano x Alto y Alto x Alto estableciéndose huertas demostrativas de cocoteros altos e híbridos en el Estado de

Yucatán que están en producción. La formación de embriones cigóticos utilizando progenitores resistentes elite ha sido la base para el programa de micropropagación. Los ecotipos mexicanos que mostraron niveles altos de resistencia se están evaluando en otras regiones afectadas por AL, en el Caribe (Jamaica) y Centro América (Honduras). En Honduras ya se estableció una red de cincuenta huertas de cocoteros altos mexicanos con apoyo de la FAO, como parte de un programa nacional de replantación de ese país.

Los estudios han contado con la colaboración del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el Colegio de Postgraduados (CP-Tabasco), la Universidad de Colima (UdeCol), el Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola (IICA), *Coconut Industry Board* (CIB, Jamaica), Dirección de Ciencia y Tecnología (DICTA, Honduras) y la Escuela Panamericana de Agricultura Zamorano (Honduras).



**Figura 1.** Palmas de cocotero Alto del Pacífico que han sobrevivido en ensayo en Yucatán por 20 años en zona de alta incidencia del amarillamiento letal (A). Vivero para la producción de Alto del Pacífico elite seleccionado con base a resultados de CICY (B) y plantación con estas palmas en el Valle de Tecomán, Colima, después de de cuatro años de siembra (C).

## 2.2. Cultivo *in vitro* del Cocotero

### GERMINACIÓN *in vitro* DE EMBRIONES CIGÓTICOS

Para vencer las restricciones fitosanitarias para la movilización de germoplasma, se desarrolló el protocolo para la germinación *in vitro* de embriones cigóticos de cocotero que permite niveles de germinación de 90 por ciento, de conversión a plántula de 80 por ciento y con una sobrevivencia *ex vitro* arriba de 90 por ciento y un desempeño mayor en campo para embriones y plantas de la variedad Enano Malayo Verde (Pech *et al.*, 2007). Este protocolo se comenzará a aplicar para la introducción de nuevos genotipos de cocotero a México provenientes de América Central y Asia.

## MICROPROPAGACIÓN

Se ha trabajado en un protocolo para la propagación *in vitro* o micropropagación de cocotero, por su potencial para producir palmas de forma masiva, utilizando como explante a la plúmula del embrión cigótico, evaluándose diferentes estrategias para la obtención de embriones somáticos (Oropeza *et al.*, 2005). Actualmente es posible obtener 100,000 embriones somáticos de cada plúmula, aunque sólo menos del 20 por ciento de ellos convierten a planta. Estas plantas han tenido un desempeño excelente en campo y en alrededor de tres años estaban produciendo frutos. Actualmente se trabaja en perfeccionar el protocolo y su escalamiento, utilizando ecotipos Altos del Pacífico resistentes al AL, a partir plúmulas de embriones obtenidos mediante polinización controlada con padres seleccionados por su alto potencial productivo.



**Figura 2.** Parcela de evaluación en San Crisanto, Yucatán, establecida con palmas de cocotero producidas por micropropagación mostrando un excelente desempeño.

## INGENIERÍA GENÉTICA

Se han logrado avances en protocolos para la transformación mediante un enfoque que involucra biobalística, infiltración y el cultivo con *Agrobacterium tumefaciens*, obteniéndose evidencia de transformación temporal. Simultáneamente se trabaja en la identificación y el aislamiento de genes que participen en la regulación de diferentes etapas de la embriogénesis. Se han aislado genes tipo *serk* (competencia embriogénica) y *knox* (desarrollo del embrión). También se están aislando genes que codifican para proteínas membranales de fitoplasma del cocotero como blancos para desarrollar estrategias de defensa. (Pérez-Núñez *et al.*, 2008).

Los estudios se han realizado en colaboración con el INIFAP, el CIRAD, *L'Institut de Recherche pour le Développement* (IRD, Francia), *Wye College* (Reino Unido), *Max Planck Institut* (Alemania) y *Queensland University* (Australia).



### 2.3. Estudio del Amarillamiento Letal

#### MODO DE PATOGENICIDAD

Se ha estudiado la distribución y abundancia de los fitoplasmas en las diferentes partes de la planta y los cambios bioquímicos y fisiológicos que resultan de la invasión, desarrollándose un modelo que nos ayuda a entender cómo actúan estos microorganismos en palmas susceptibles para generar los síntomas observados y finalmente la muerte (Maust *et al.*, 2003). Se mejoró la metodología de detección y muestreo de fitoplasmas al encontrarse que los fitoplasmas son más abundantes en el tronco, haciendo ágil los estudios de epidemiología. Se preparó un manual adoptado por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) y la información ha sido usada para las campañas de cuarentena.

#### EPIDEMIOLOGÍA

Se determinaron los patrones de dispersión a corta-larga distancia, así como los gradientes de dispersión este-oeste en Yucatán, intra-plantación a corta distancia e inter-plantación a larga distancia (Góngora-Canul *et al.*, 2003). Con información cuantitativa se diseñó un esquema de erradicación de las palmas infectadas para poder reducir la velocidad de dispersión de la enfermedad. Senasica, Sagarpa, con esta información preparó una guía para orientar a los productores. Se investigó la existencia de hospederos alternos o alternativos de los fitoplasmas del AL, identificándose diferentes especies de palmas y de plantas no palmáceas que albergan a los fitoplasmas del AL, y se obtuvo evidencia de que pueden actuar como reservorios permanentes (Oropeza *et al.*, 2009).

#### TRANSMISIÓN DE LOS FITOPLASMAS

Utilizando trampas y jaulas en campo y en un sistema *in vitro* en el laboratorio se identificaron varias especies de homópteros que pueden estar participando como vectores del AL y evidencias de que *Myndus crudus* puede ser un vector del AL para cocotero. Al mismo tiempo, se realizan estudios para evaluar la posibilidad de que ocurra transmisión a través de embriones cigóticos. Se ha confirmado la presencia de fitoplasmas del AL en embriones de cocotero usando diferentes técnicas (Cordova *et al.*, 2003). Actualmente se estudia si estos embriones, al germinar y convertirse en plantas, conservan a los fitoplasmas.



**Figura 3.** Sistema desarrollado en CICY de transmisión *in vitro* del amarillamiento letal para la identificación de vectores. Con este sistema se confirmó a *Myndus crudus* como vector en Yucatán.

#### DESARROLLO DE TÉCNICAS PARA EL MUESTREO Y LA DETECCIÓN DE FITOPLASMAS

La toma de muestras a partir de tejidos de tronco y metodología de detección por PCR han sido adoptadas como un procedimiento estándar para la evaluación de la presencia de fitoplasmas en palmas sospechosas. En el CICY se está trabajando en desarrollar nuevos protocolos para la detección de fitoplasmas del AL utilizando la técnica de PCR de tiempo real y el uso del agente fluorescente SYBR-Green y sonda TaqMan (Oropeza *et al.*, 2009). Los protocolos obtenidos muestran mayor especificidad, sensibilidad y precisión, permitiendo el desarrollo de protocolos cuantitativos que están comenzando a ser usados en estudios de investigación en el CICY y adoptados por otras instituciones en Honduras, Jamaica y México.

Los estudios en esta sección se han realizado en colaboración con el INIFAP, el CP, la UdeCol, la Universidad de Florida, el CIB, Zamorano, el CIRAD, *Max Planck Institut*, *Rothamsted Research* (Gran Bretaña), *Coconut Industry Board* (Jamaica), el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF, República Dominicana) y la Universidad del Valle (Guatemala).

## 2.4. Colaboraciones

### COLABORACIONES ACADÉMICAS

Un gran número del personal académico del CICY ha contribuido. En los últimos cinco años se incluyen: A. Colli, F. Cruz, J. L. Dizado, F. Espadas, P. Flores, T. González, J. F. Julia, G. Nic Matos, L. C. Rodríguez, M. Robert, G. Rodríguez, J. Santamaría, R. Souza, C. Talavera May y J. J. Zúñiga; y como núcleo permanente I. Cordova, J. L. Chan, M. Fernández, M. Narváez, L. Sáenz, N. Torres,

D. Zizumbo y C. Oropeza (coordinador). Se ha colaborado con otras instituciones tanto en México y en el extranjero. Para favorecer la colaboración, el CICY ha promovido la formación de redes a nivel nacional (Red Mexicana de Cocotero, 2002) e internacional (Red del Amarillamiento Letal de Latinoamérica y el Caribe, 2004). Además, el CICY ha representado a México y a Latinoamérica y el Caribe en el Comité Ejecutivo de *Coconut Genetic Resources Network* (COGENT, Malasia) por varios años. Ésta es una plataforma que nos permite estar en contacto con representantes de países de todos los continentes, el intercambio de germoplasma y de tecnologías desarrolladas en los países miembros.

#### COLABORACIONES CON LOS SECTORES PRODUCTIVO Y OFICIAL

Desde su inicio, este programa de investigación y desarrollo tecnológico se ha ido vinculando cada vez más estrechamente con el sector productivo y el sector oficial. Actualmente esta vinculación es de carácter formal a través de una asociación con productores a nivel nacional con el Consejo Nacional del Cocotero (Conacoco, [www.conacoco.com.mx](http://www.conacoco.com.mx)) y con la participación del CICY en el Comité Nacional del Sistema Producto Cocotero (CNSPC). En el CNSPC participan representantes de diferentes estancias del sector oficial, así como representantes de la industria de los derivados del cocotero. A nivel estatal, interaccionamos con los Consejos Estatales de Cocotero de Colima, Jalisco, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán. Localmente interaccionamos con la asociación de productores de coco de varios Ejidos del estado de Yucatán.

### 2.5. Organización de Reuniones Científicas

Se han organizado reuniones internacionales para difundir los resultados de la investigación y promover el intercambio de ideas y la colaboración. Entre éstas destacan: a) *Lethal Yellowing Research and Practical Aspects, an International Symposium*, CICY, Mérida, Noviembre 15-20, 1993; b) *International Symposium on Coconut Biotechnology*, CICY, Mérida, Diciembre 1-5, 1997; c) *2<sup>nd</sup> International Coconut Embryo Culture Workshop*, organizado por el CICY y *Coconut Genetic Resources Network* (COGENT, IPGRI), CICY, Mérida, Marzo 14-17, 2000; d) Simposio-Curso Práctico Internacional sobre Biotecnología, CIMbios II, organizado por el CICY, *Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung* (MPIZ, Köln), *Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie* (IUCT, Schmallen-

berg / Aachen), CICY, Mérida, Noviembre-Diciembre, 2002, y e) 12<sup>th</sup> COGENT Steering Committee Meeting, organizado por CICY y COGENT, CICY, Mérida, Noviembre 10-12, 2003.

## 2.6. Logros Académicos

Como resultado de las investigaciones que se han realizado se han publicado 59 artículos científicos, 33 capítulos de libro y se han editado tres libros. En cuanto a formación de estudiantes, se han recibido 41 estudiantes de licenciatura, 11 de maestría y 11 de doctorado.

## 3. Conclusiones y Perspectivas

Los resultados han permitido logros científicos y prácticos como la transferencia de tecnología a través de la interacción formal con el sector productivo organizado: Conacoco y el CNSPC.

En relación a recursos genéticos en el aspecto científico, los estudios han contribuido a entender mejor la biodiversidad del germoplasma disponible en México y cómo interacciona con el AL. En forma aplicada se identificaron ecotipos resistentes al AL e individuos muy productivos, lo que ha permitido establecer los planes nacionales y estatales de replantación necesarios para incrementar la productividad, la producción nacional, promover la diversificación productiva y ajustarse a las nuevas tendencias del mercado. Con una visión de futuro, se introducirán genotipos de Centro América y de Asia-Pacífico para su evaluación ante el AL, y así poder extender la base genética de germoplasma resistente al AL en México. Con este propósito, también se trabaja en el desarrollo de métodos más eficientes y eficaces para identificar resistencia al AL con base en marcadores moleculares y ensayos *in vitro*.

En cuanto a la micropropagación, en lo científico se ha generado información que permite comenzar a entender el proceso de embriogénesis somática en cocotero. En la práctica, ya se cuenta con un proceso muy productivo en la formación de embriones somáticos y permite la formación de plantas que tienen un excelente desempeño en campo. Actualmente se trabaja para perfeccionarlo y su escalamiento a nivel de planta piloto. El avance logrado es único en el mundo. La perspectiva es establecer en un futuro próximo una red de biofábricas distribuidas en las diferentes regiones de México para contribuir cada vez en mayor medida

en la producción de plantas para el Programa Nacional de Replatación de Conacoco.

Respecto al estudio de la enfermedad, se ha generado información que nos permite entender mejor diferentes aspectos como la diversidad del patógeno, su patogenicidad, la epidemiología, la transmisión y dispersión. Estos estudios, además, tienen una aplicación práctica muy importante, pues establecen bases para desarrollar protocolos para la erradicación de focos, su contención o manejo. Ya existe una guía para este propósito producida por Senasica, Sagarpa. Actualmente se trabaja en el desarrollo de metodología que nos permita una mayor capacidad de detectar ágilmente a palmas infectadas asintomáticas en brotes de AL. Los resultados también han sido utilizados para la adecuación de las campañas cuarentenarias, en particular, los referentes a confirmación de diagnóstico y la identificación de otras especies palmáceas y no palmáceas hospederas del AL.

## Referencias

- Cordova, I., P. Jones, N. A. Harrison and C. Oropeza. 2003. *In situ* PCR detection of phytoplasma DNA in embryos from coconut palms with lethal yellowing disease. *Molecular Plant Pathology* 4: 99-108.
- Góngora-Canul, C., J. Escamilla-Bencomo, O. Pérez-Hernández y G. Mora-Aguilera. 2004. Gradientes de diseminación del amarillamiento letal en cocotero (*Cocos nucifera* L.) en Sisal Yucatán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22:370-376.
- Maust, B. E., F. Espadas, C. Talavera, M. Aguilar, J. Santamaría and C. Oropeza. 2003. Changes in carbohydrate metabolism in coconut palms infected with the lethal yellowing phytoplasma. *Phytopathology* 93: 976-981.
- Oropeza, C., E. Rillo, V. Hoher and J. L. Verdeil. 2005. Coconut micropropagation. In: Batugal, P. V. Ramanatha Rao and J. Oliver (eds.). *Coconut Genetic Resources*. International Plant Genetic Resources Institute – Regional Office for Asia, the Pacific and Oceania (IPGRI-APO), Serdang, Selangor DE, Malaysia, pp 334-348.
- Oropeza, C., G. Mora, N. A. Harrison, M. M. Roca, W. Myrie, L. Sáenz, M. Narvaez and I. Cordova. 2009. Epidemiological Studies of Lethal Yellowing in the Americas. In: Jean-Claude Legoupil (ed.), *Proceedings of the International Workshop on Lethal Yellowing Diseases on Coconut*. Ghana, Accra 3-6 June 2008. FARA, Accra, Ghana. pp. 183-193.
- Pech y Ake, A., B. Maust, A. Orozco-Segovia and C. Oropeza. 2007. The effect of gibberellic acid on the *in vitro* germination of coconut zy-

- gotic embryos and their conversion into plantlets. *In vitro Cell.Dev.Biol.-Plant* 43: 247-253.
- Pérez-Núñez, M. T., R. Souza, J. L. Chan, L. Sáenz, J. J. Zúñiga-Aguilar, C. Oropeza. 2008. Detection of a *SERK*-like gene in coconut and analysis of its expression during the formation of embryogenic callus and somatic embryos. *Plant Cell Reports* 28: 11-19.
- Robert, M. y D. Zizumbo (eds.). 1999. La problemática del amarillamiento letal en México. CICY, Mérida, México 197 p.
- Zizumbo-Villarreal, D., M. Ruiz-Rodriguez, H. Harries and P. Colunga-GarcíaMarín. 2006. Population genetics, Lethal Yellowing disease, and relationships among Mexican and imported coconut. *Crop Science*. 46:2509-2516.
- Zizumbo-Villarreal, D., P. Colunga-GarcíaMarín, M. Fernández-Barrera, N. Torres and C. Oropeza. 2008. Mortality of Mexican germplasm due to letal yellowing. *Plant Genetic Resources Newsletter*. 156:22-32.

# Los materiales compuestos y la Unidad de Materiales

*Gonzalo Canché Escamilla*

Los materiales compuestos son mezclas de dos o más materiales que coexisten como fases separadas y combinadas para formar una estructura deseada, de tal forma que se tome ventaja de ciertas propiedades de algunos de los componentes. Los materiales compuestos consisten en una fase continua (matriz) que rodea a las estructuras que forman fase dispersa (reforzante o carga). La matriz puede ser orgánica, inorgánica o metálica; la fase dispersa puede tener la forma de partículas, fibras, varilla, láminas, etc. Aunque por lo general se busca obtener materiales con mejores propiedades mecánicas (la fase dispersa actúa como refuerzo) también se han desarrollado materiales en los que se busca mejorar alguna otra propiedad de la matriz (p. e. apariencia, resistencia a la flama, resistencia a la degradación, etc.). En este último caso, la fase dispersa puede o no incrementar las propiedades mecánicas de la matriz.

En el caso de los materiales compuestos con matriz polimérica, se han utilizado tanto matrices termoplásticas como termofijas como fases continuas. Como fases dispersas se han utilizado fibras naturales y sintéticas, partículas inorgánicas y orgánicas, hojuelas o laminillas, etc. En el caso de materiales compuestos fibrorreforzados también se ha trabajado con fibras cortas, fibras continuas, fibras largas tejidas y no tejidas.

En este capítulo se hará una descripción de la investigación realizada por la Unidad de Materiales del CICY en el campo de los materiales compuestos con matriz polimérica.

## **Materiales compuestos con fibras naturales**

Las fibras naturales han atraído la atención tanto de científicos como de tecnólogos debido a las ventajas que proporcionan estas fibras en comparación con otros tipos de refuerzos convenciona-

les. El desarrollo de materiales compuestos con fibras naturales ha sido de gran interés en los últimos años. Las fibras naturales son de bajo costo, baja densidad y altas propiedades específicas. Son biodegradables y no son abrasivas como otros tipos de refuerzos, además de que se pueden obtener de diversas fuentes.

Las fibras naturales son propiamente un material compuesto, ya que están constituidas por microfibrillas de celulosa en una matriz de lignina y hemicelulosa. Las microfibrillas están distribuidas a lo largo de la fibra. Los enlaces de hidrógeno y otros tipos de enlaces proveen de la resistencia y la rigidez necesaria a la fibra para actuar como un refuerzo de matrices termoplásticas o termofijas.

Los primeros estudios sobre materiales compuestos en el CICY fueron realizados a través del entonces Departamento de Química Aplicada como una forma de darle un uso alternativo a las fibras de henequén y los residuos generados durante la extracción de las fibras. La fibra de henequén posee excelentes características físico-mecánicas (Cruz Ramos, 1984), por lo que puede ser utilizada como material de refuerzo en diferentes matrices poliméricas. Marchand y colaboradores (1985) utilizaron las fibras cortas de henequén y fieltros de fibra de henequén como refuerzo de yeso y de resina poliéster, respectivamente. Estos materiales presentaron buenas propiedades mecánicas, además de otras ventajas que los hacen atractivos para la industria de la construcción. Los laminados de poliéster-fibra de henequén con recubrimiento de arena fueron resistentes al ataque biológico y no flamables, mientras que los materiales compuestos de yeso-fibra de henequén, debido a su capacidad para la absorción y reflexión de ondas sonoras, pueden ser utilizados como aislantes acústicos.

Debido al alto contenido de celulosa en las fibras de henequén y a las propiedades mecánicas de las mismas, Aguilar Vega y Cruz Ramos (1988) iniciaron estudios sobre el aprovechamiento de la celulosa de henequén en la preparación de materiales compuestos con resinas termofijas de poliuretano. Las fibras de celulosa fueron obtenidas mediante un proceso de digestión alcalina de las fibras de henequén y se estudió el efecto de la presencia de las fibras de celulosa en la polimerización de la matriz de poliuretano. Se observó un efecto del contenido de fibra de celulosa sobre la velocidad de polimerización del poliuretano, ya que las fibras de celulosa, al ser huecas, absorben parte de los reactivos que se utilizaron para la obtención del poliuretano. Esta característica de



la celulosa con respecto a los reactivos líquidos cuando se utilizan matrices termofijas debe ser tomada en cuenta en las formulaciones de dichas resinas, a fin de poder obtener las mejores propiedades de la matriz. Aguilar Vega (1988) también realizó estudios sobre la utilización de la celulosa de henequén como refuerzo de una matriz termoplástica de polietileno (PE). Las fibras se mezclaron con el PE en una cámara de mezclado a una temperatura de 175 °C. Se obtuvo un incremento en la rigidez de los materiales al aumentar el contenido de fibra en los materiales compuestos y una drástica disminución en la deformación a la ruptura de los materiales a bajos contenidos de celulosa.

Debido a que existe cierta incompatibilidad entre las matrices termoplásticas y las fibras naturales, además de que éstas tienden a aglomerarse durante su procesamiento, es necesario realizar modificaciones sobre la superficie de las fibras para mejorar tanto la compatibilidad fibra-matriz como su dispersión. Valadez y colaboradores (1999) modificaron la superficie de fibras cortas de henequén mediante tratamientos alcalinos, silanización e impregnación de las fibras. Obtuvieron un incremento de la resistencia interfacial fibra-matriz de HDPE medida usando técnicas de micromecánica, demostrando el efecto de la modificación superficial sobre la compatibilidad fibra-matriz. Canché y colaboradores (1999) modificaron tanto la superficie de las fibras de henequén como de la celulosa obtenida del henequén mediante el injerto de polímeros sintéticos sobre la superficie de las mismas. Las fibras injertadas se utilizaron como refuerzos de matrices de polimetacrilato de metilo, copolímeros de estireno-acrilonitrilo y policloruro de vinilo. Los materiales compuestos en los que se mejoró la compatibilidad entre el refuerzo y la matriz presentaron mayor resistencia a tensión que los materiales sin modificar.

Además del henequén, se han obtenido materiales compuestos con otros tipos de fibras naturales. Ayora y colaboradores (1997) obtuvieron materiales compuestos con fibras de cuero, coco y henequén y una matriz de PVC; observaron que las suspensiones de fibras naturales siguen un comportamiento de flujo que se puede ajustar a una ley de potencia. Madera y colaboradores (1998) obtuvieron materiales compuestos de policloruro de vinilo (PVC) y residuos de fibras de cuero. Los materiales se pudieron procesar en un proceso continuo mediante extrusión hasta contenidos del 40% de fibra de cuero y los materiales con contenidos del 20% de cuero presentaron una apariencia y propiedades simi-

lares al cuero, por lo que se podrían utilizar en la industria del calzado como cuero sintético. González y colaboradores (2002) utilizaron las fibras provenientes de residuos de la planta de plátano (pseudotallo y pinzonte) para la obtención de materiales compuestos con una matriz de polietileno. García y colaboradores (2004) obtuvieron materiales compuestos usando fibras de bagazo de caña como refuerzo y una matriz de poliestireno. Estudiaron el efecto de diferentes tratamientos superficiales de la fibra sobre la resistencia interfacial. Balam y colaboradores (2006) han utilizado las fibras de coco, de piña de henequén y de *Agave tequilana* para la obtención de materiales compuestos utilizando matrices de polipropileno y de polimetacrilato de metilo.

Aunque el uso de fibras cortas de fibras naturales o de la celulosa obtenida de dichas fibras resulta en una mejora de las propiedades de los materiales compuestos, la gran variabilidad de las propiedades mecánicas de las fibras naturales y la pobre transferencia de esfuerzos de la fibra a la matriz han resultado en el desarrollo de materiales compuestos con fibras continuas naturales o regeneradas para la obtención de materiales compuestos con mejor desempeño. Blanco y colaboradores (1998) obtuvieron fibras continuas de celulosa a partir de la disolución de las fibras cortas de celulosa injertadas con metilmetacrilato mediante un proceso de disolución en un sistema de cloruro de litio-dimetilacetamida y posterior hilado de las fibras continuas de celulosa. Las fibras continuas fueron utilizadas como refuerzos en una matriz de poliéster, obteniéndose una mejora en las propiedades mecánicas de los materiales compuestos obtenidos. Trejo y colaboradores (2000) obtuvieron materiales compuestos con fibras continuas de celulosa regenerada (rayón) y una matriz de poliestireno. Estudiaron el efecto de la modificación de la superficie de las fibras mediante el injerto de copolímeros sobre la compatibilidad fibra-polímero; dicha evaluación se realizó utilizando técnicas de micromecánica, como el desprendimiento de gota y la fragmentación de fibra. Herrera y Valdez (2004) estudiaron el efecto de las fibras continuas de henequén y de la modificación superficial de las mismas sobre las propiedades mecánicas de una matriz de polietileno de alta densidad (PEAD). No se apreció un efecto del tratamiento superficial sobre la resistencia interfacial, pero se obtuvo un incremento para la resistencia tensil longitudinal y en la resistencia a flexión del material compuesto.

### **Materiales compuestos con fibras sintéticas**

Por lo general, las fibras utilizadas en materiales compuestos termoplásticos se emplean en forma de fibras cortas, por lo que no se tiene una buena transferencia de esfuerzos de las fibras hacia la matriz. Para la obtención de materiales compuestos de alto rendimiento se utilizan fibras continuas sintéticas, tales como las fibras de vidrio y de carbón en matrices termofijas, como las resinas poliéster o la resina epóxica. Ríos y colaboradores (2007) han desarrollado materiales compuestos con telas tejidas y no tejidas de fibra de vidrio y matrices epóxicas, con el fin de poder obtener materiales con propiedades similares en todas las direcciones y no solamente en la dirección principal, como es el caso de materiales con fibras unidireccionales.

En el caso de materiales compuestos con fibras de vidrio y matrices termofijas, se presenta el problema de su reciclado una vez terminado su uso, por lo que se han propuesto materiales con fibras y matrices termoplásticas, los que se podrían reciclar fácilmente. González y colaboradores (2002 y 2007) han desarrollado un proceso para la impregnación de fibras termoplásticas de alto rendimiento como el Kevlar y el Twaron con polímeros termoplásticos para la obtención de laminados. También han utilizado fibras de nylon y de poliéster como refuerzos de matrices termoplásticas (González, 2003, 2004). Obtuvieron un incremento en el módulo del material en la dirección del refuerzo manteniendo la flexibilidad del laminado obtenido.

### **Materiales compuestos con cargas inorgánicas**

Márquez y colaboradores (1997) obtuvieron materiales compuestos conductores con matriz elastomérica de butadieno y negro de humo como material conductor de electricidad. Los filamentos del material compuesto conductor se obtuvieron usando un extrusor monohusillo y se evaluó el comportamiento de este material en atmósfera de disolventes como gasolina, benceno y hexano. El hinchamiento de la matriz de butadieno en atmósfera de disolvente disminuye la conductividad del material compuesto, por lo que se podrían utilizar como detectores de fugas de disolventes. Guillén y colaboradores (2001) obtuvieron materiales compuestos utilizando negro de humo y una mezcla de polímeros inmiscibles (polietileno [PE] y polietilenterftalato [PET]). Encontraron que el negro de humo se concentra en la fase de polietileno, por lo que la

conductividad del material compuesto disminuye conforme se incrementa la cantidad de PET en la matriz. Islas y colaboradores (2001) estudiaron el efecto de la adición y contenido de hidroxiapatita sobre las propiedades mecánicas de materiales compuestos con matrices de polimetil metacrilato (cementos óseos). Los cementos preparados con MMA presentaron tiempos de curado menor de dos minutos, temperaturas de 90 °C y propiedades mecánicas similares a los cementos comerciales. Hernández y Herrera (2001) obtuvieron un material compuesto conductor mediante la mezcla de una matriz de polipropileno y negro de humo. Se observó un incremento en las propiedades mecánicas y en la conductividad eléctrica al aumentar el contenido de negro de humo en el material compuesto. También se obtuvo un incremento de la temperatura ambiente de la superficie del material compuesto con voltajes tan bajos como 20 V. Valadez y Veleva (2003) estudiaron el efecto de la incorporación de carbonato de calcio sobre la resistencia a degradación ambiental de una matriz de polietileno. Observaron que la presencia del carbonato de calcio en el material compuesto modifica el mecanismo de degradación del material mientras que las diferentes condiciones ambientales sólo modifican la velocidad de degradación de la matriz.

### **Nanocompuestos**

En los últimos años se ha observado el desarrollo de la nanotecnología, en la que se pretende aprovechar las características inusuales que presentan algunos materiales de tamaño nano en comparación con los mismos materiales de tamaño micro o macro. En el área de los materiales compuestos, estos desarrollos se han enfocado al uso de fases dispersas de tamaño nanométrico, como nanofibras y nanotubos de carbón; nanofibras de celulosa, nanopartículas orgánicas e inorgánicas o metálicas y nanohojuelas como las arcillas. En todos los casos, el problema de dispersión de la fase dispersa en la matriz es uno de los principales problemas a resolver. El Dr. Hernández también ha utilizado los nanotubos de carbono dispersos en materiales termoplásticos para su utilización en andamios poliméricos que puedan servir como soporte de crecimientos de tejidos. El Dr. Cauich ha utilizado nanoarcillas como refuerzo y una matriz de poliéster para desarrollar nanocompuestos que puedan ser utilizados en la fabricación de prótesis externas. Canché y colaboradores (2006) han desarrollado nanopartículas estructuradas tipo núcleo-coraza, las cuales han

sido utilizadas como agentes modificadores de impacto de matrices rígidas (núcleo huloso/coraza rígida) o para la obtención de nanocompuestos conductores (núcleo de polímero conductor/coraza de materiales no conductores). Herrera y colaboradores (2008) prepararon materiales compuestos con matriz de policarbonato obtenido del reciclado de garrafones y nanopartículas de sílica o nanoarcillas. Se obtuvo una mejor dispersión de las nanopartículas de sílica cuando se usó ácido esteárico como ayuda de proceso, lo que se reflejó en valores de módulo más altos de los materiales compuestos. La nanoarcilla presentó valores de módulo más altos en comparación con las nanopartículas de sílica. Hernández y colaboradores (2008) han estado trabajando en el desarrollo de nanocompuestos utilizando nanotubos de carbono y matrices termofijas, para el desarrollo de nanocompuestos con alto rendimiento. En este tipo de nanocompuestos, la morfología del nanotubo y las impurezas presentes en su superficie afectan significativamente las propiedades de los materiales compuestos obtenidos.

Aunque mucho del trabajo en el área de materiales compuestos se ha dirigido al estudio de las propiedades de los materiales y a la mejora de la compatibilidad fibra-matriz, también han surgido algunos desarrollos tecnológicos, como la obtención de elementos de construcción para viviendas económicas, los cuales pueden tener un impacto en el desarrollo social de región.

Fuentes y colaboradores (1997) desarrollaron un tablero aglomerado a partir del reciclaje de los envases de cartón multilaminados, mejor conocidos como envases Tetrapak<sup>®</sup>. Estos tableros alcanzaron propiedades mecánicas similares a las de los tableros aglomerados de madera convencionales, así como mejores propiedades de aislamiento térmico y acústico. Guillén y colaboradores (1999) continuaron con estos estudios obteniendo la marca registrada Tablapak<sup>®</sup> para este producto, con posibles aplicaciones en las industrias de la construcción y mueblera, en productos como puertas de tambor, muros divisorios, plafones falsos y muebles de oficina. Herrera y colaboradores (2000) utilizaron fibras cortas de henequén para obtener materiales compuestos con matriz cementicia con posibles aplicaciones para vivienda de autoconstrucción. Se mejoró la resistencia a compresión de los materiales compuestos con fibras de henequén en comparación con los materiales sin refuerzo. Cruz y colaboradores (2006) han utilizado los materiales compuestos obtenidos con fibras de made-

ra y matriz de polipropileno para generar láminas acanaladas, como una opción para las techumbres de viviendas económicas.

## Referencias

- Aguilar Vega, M. and C. A. Cruz Ramos. 1988. Effects of cellulosic fibers on the polymerization of a polyurethane. *Polymer Engineering and Science*. 28 (29), 1331, 1334.
- Ayora, M., C. R. Ríos-Soberanis, J. Quijano-Solís and L. Márquez-Lucero. 1997. Evaluation by torque rheometer of suspensions of semi rigid and flexible natural fibers in a matrix of poly(vinyl chloride). *Polymer Composites*. 18: 549-560.
- Balam Cocom, R. J., S. Duarte Aranda y G. Canché Escamilla. 2006. Obtención y caracterización de materiales compuestos de fibras de la “piña” de henequén y polipropileno. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 5 Suplemento 1: 39-44.
- Blanco Iturralde, C., J. Rodríguez Laviada y G. Canché Escamilla. 1998. Obtención de fibras continuas de celulosa a partir de fibras cortas injertadas con acrílicos. *Memorias del XI Congreso Nacional de Polímeros*. Sociedad Polimérica de México. pp. 66-68.
- Canché-Escamilla, G., J. I. Cauich-Cupul, E. Mendizábal, J. E. Puig, H. Vázquez-Torres and P. J. Herrera-Franco. 1999. Mechanical properties of acrylated-grafted henequen cellulose fibers and their applications in composites. *Composites: part A*. 30: 349-359.
- Canché-Escamilla, G., S. Duarte-Aranda, M. Rabelero-Velasco and E. Mendizábal Mijares. 2006. Effect of Morphology and Particle Size on the Mechanical Properties of SAN composites. *Preprints of Annual Technical Conference (ANTEC 2006)*: 334-337.
- Cruz Estrada, R. H., P. Fuentes Carrillo, O. Martínez Domínguez, G. Canché Escamilla y C. García Gómez. 2006. Obtención de materiales compuestos a base de desechos vegetales y polietilenos de alta densidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 5 Suplemento 1: 29-34.
- Cruz Ramos, C. A. 1984. Mechanical properties, stress relaxation and creep in a natural fiber. *Advances in Rheology*. 9: 733-740.
- Fuentes Riquelme, P., P. Fuentes Carrillo, A. Lucero Márquez. 1997. Reciclaje de desechos poliméricos. *Reporte Interno, CICY*.
- García Hernández, E., A. Licea Claverie, A. Zizumbo, A. Alvarez Castillo and P. Herrera Franco. 2004. Improvement of the interfacial compatibility between sugar cane bagasse fibers and polystyrene composites. *Polymer Composites*. 25: 134-145.
- González Chi, P. I., J. L. Mena Tun and J. G. Carrillo Baeza. 2002. Thermoplastic, flexible and recyclable composites, design, preparation

- and characterization. *International Journal of Polymeric Materials*. 51: 497-509.
- González Chí, P. I., G. Vázquez Rodríguez and R. Gómez Cruz. 2002. Thermoplastic composites reinforced with banana (*Musa paradisiaca* L.) wastes. *International Journal of Polymeric Materials*. 51: 685-694.
- González Chí, P. I., A. A. Martín Medina, J. A. Argáez Canul and J. G. Carrillo Baeza. 2003. Polyethylene composites unidirectionally reinforced with nylon fibers. *Journal of Materials Science and Technology*. 11: 84-95.
- Gonzalez Chi, P. I., L. H. May Hernández and J. G. Carrillo Baeza. 2004. Polypropylene composites unidirectionally reinforced with polyester fibers. *Journal of Composite Materials*. 38(17): 1521-1532.
- González Chí, P. I. y W. Ramos Torres. 2007. Preparación y caracterización de materiales compuestos termoplásticos unidireccionales reforzados con fibras de ingeniería. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6: 51-58.
- Guillén Mallete, J., P. Fuentes Carrillo, M. Rivero Ayala, C. V. Cupul Manzano. 1999. Escalamiento del proceso el reciclaje de contenedores multilaminados. Reporte Interno, CICY.
- Hernández Pérez, A., F. Avilés, A. May Pat, A. Valadez González, P. J. Herrera Franco y P. Bartolo Pérez. 2008. Effective Properties of Multiwalled Carbon Nanotube/Epoxy Composites Using Two Different Tubes. *Composites Science and Technology*. 68: 1422-1431.
- Hernández Sánchez, F. and P. J. Herrera Franco. 2001. Electrical and thermal properties of recycled polypropylene-carbon black composites. *Polymer Bulletin*. 45: 509-516.
- Herrera Franco, P., A. Valadez González y C. García Gómez. 2000. Aplicación de materiales fibrorreforzados en el diseño de vivienda para zonas marginadas. UADY. Cuadernos de arquitectura. p. 47-52.
- Herrera Franco, P. J. and A. Valadez González. 2004. Mechanical properties of continuous natural fiber-reinforced polymer composites. *Composites: part A*. 35: 339-345.
- Herrera Kao, W. y M. Aguilar Vega. 2008. Efecto de los aditivos de proceso sobre las propiedades de nanocompuestos de policarbonato con nanopartículas inorgánicas. *Revista Mexicana de ingeniería Química*. 7: 163-170.
- Islas Blancas, M. E., J. M. Cervantes Uc, R. Vargas Coronado, J. V. Cauich Rodríguez, R. Vera Graciano and A. Martínez Richa. 2001. Characterization of bone cements prepared with functionalized methacrylates and hydroxyapatite. *Journal Biomaterial Science Polymer*. Edition 12: 893-910.

- Madera Santana, T. J., A. Campos Torres and A. Márquez Lucero. 1998. Extrusion and mechanical characterization of PVC-Leather fiber composites. *Polymer Composites*. 19: 431-439.
- Marchand Azar, R. M. 1985. Modificaciones químicas de la fibra de henequén para su aplicación en materiales compuestos con resinas poliéster. Tesis licenciatura, Facultad de Ingeniería Química, UADY.
- Márquez, A., J. Uribe and R. Cruz. 1997. Conductivity variation induced by solvent swelling of an elastomer-carbon black-graphite composite. *Journal Applied Polymer Science*. 66: 2221-2232.
- Ríos, C., S. I. Olguin, C. Lekakou and H. K. Leong. 2007. A study of damage development in a weft knitted fabric reinforced composite. Part 1: Experiments using model sandwich laminates. *Composites: Part A*. 38: 1773-1793.
- Trejo O'Reilly, J., J. Y. Cavaillé, M. Paillet, A. Gandini, P. J. Herrera Franco and J. Cauich. 2000. Interfacial properties of regenerated cellulose fiber/polystyrene composite materials. Effect of the coupling agent's structure on the micromechanical behavior. *Polymer Composites*. 21(1): 65-71.
- Valadez González, A., J. M. Cervantes Uc, R. Olayo and P. J. Herrera Franco. 1999. Effect of fiber surface treatment on the fiber-matrix bond strength of natural fiber reinforced composites. *Composites: part B*. 30: 309-320.
- Valadez González, A. and L. Veleva. 2003. Mineral filler influence on the photo-oxidation mechanism degradation of high density polyethylene. Part II. Natural exposure test. *Polymer Degradation and Stability*. 83: 139-148.



# El Herbario CICY

*Germán Carnevali Fernández-Concha*

El Herbario CICY fue fundado por el Dr. Roger Orellana durante el periodo 1981-1982. En su inicio estuvo adscrito al Departamento de Ecología del recién fundado Centro de Investigación Científica de Yucatán, que residía en su domicilio inicial de la calle 66 del centro de Mérida. Cuando el CICY se mudó a su residencia actual de la entonces Ex-Hacienda Xcumpich en el año 1982, el Herbario se transfirió a la hoy llamada Unidad de Recursos Naturales (URN). Allí se realizó un acto de inauguración al que asistieron personalidades de la botánica asociadas a los herbarios, entre las que se contaron Victoria Sosa, Hermilo Quero, Lourdes Villiers y otras. El primer curador del Herbario CICY fue el Dr. Roger Orellana, quien comenzó un proyecto de colectas generales. En 1983, la curaduría fue transferida al entonces biólogo Enrique Estrada Loera, quien había sido contratado expresamente para este fin. El biólogo Estrada Loera ejerció la jefatura del Herbario hasta el año 1988, cuando se fue al exterior a estudiar su doctorado.

En ese momento, en Mérida existía ya otro herbario, el de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY), cuyo acrónimo es UADY. Este herbario estaba empezando a trabajar en un proyecto florístico denominado “Etnoflora Yucatanense”, liderado por Salvador Flores Guido. Por ello, para no duplicar esfuerzos, el Herbario del CICY concentró sus esfuerzos en la colecta de plantas de interés etnobotánico, incluyendo los ejemplares de respaldo de algunos de los proyectos de investigación de la URN y la colección de referencia del Jardín Botánico Regional del CICY. Así, durante esta etapa, el Herbario consistía fundamentalmente de múltiples colecciones de agaves de fibra y de cocotero. Hacia el final del periodo de Enrique Estrada Loera, el Herbario llegó a almacenar unos seis mil ejemplares y se obtuvo el registro del herbario ante el *Index Herbariorum* con el acrónimo CICY.

En el año 1988, razones de política nacional decretan la disolución del CREBIPY- INIREB, un proyecto liderado por el Dr. Arturo Gómez-Pompa. El INIREB pretendía, entre otras cosas, producir tratamientos florísticos de regiones selectas de México (fundamentalmente del sureste del país), un proyecto asociado con la generación de colecciones de herbario y de una base de datos de especímenes, distribuciones y usos de las plantas del país. El proyecto tenía su centro en Xalapa, Veracruz, pero tenía una colección de plantas herborizadas, el Herbario YUC, en Mérida. Al disolverse, los bienes e infraestructura del INIREB quedaron en las manos de funcionarios de la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), y el plan original de la SPP fue llevarse el Herbario YUC a Xalapa, junto con los demás bienes del INIREB. Sin embargo, los Drs. Roger Orellana y Patricia Colunga del CICY negociaron que el herbario YUC fuese incorporado al Herbario CICY, bajo la premisa de que todos los ejemplares allí depositados estaban duplicados en el herbario XAL, la colección de plantas veracruzanas del INIREB.

Con el Herbario YUC se incorporaron al Herbario CICY cerca de 20 mil ejemplares en colección y 11 mil números de colecta en proceso, además de un número importante de armarios y otra infraestructura que complementaron el acervo inicial del Herbario. Al incorporarse el Herbario YUC, la bióloga (hoy doctora) Patricia Colunga asumió la dirección del Herbario CICY. En ese momento, se contrató a la bióloga (hoy doctora) María Goreti Campos, quien compartió la dirección y manejo del Herbario durante el periodo 1988-1990. En 1991, se le ofreció la curaduría del Herbario al Dr. Hermilo Quero, quien la ejerció durante seis meses, teniendo bajo su cargo a Goreti Campos. En 1992, Roger Orellana retomó la posición hasta el año 1993, cuando el Herbario comenzó a ser conducido por el Dr. Rafael Durán García.

El Dr. Durán le dio un gran impulso al Herbario al obtener apoyo de la Conabio para la adquisición de materiales y equipos (incluyendo microscopios y armarios) y para la creación y desarrollo de una base de datos con la información de los especímenes del Herbario CICY. Esta labor vino acoplada con una activación de los trabajos de colecta, asociados con el interés del Dr. Durán en las plantas endémicas y raras de la península de Yucatán. Asimismo, se reactivó un programa de intercambio con otros herbarios, principalmente nacionales y de la región. En ese momento, se transfirió al Herbario al técnico Filogonio May-Pat, quien traba-

jaba asociado a las colecciones de *Agave* del Centro y quien trabajaría en el Herbario hasta el año 2006, básicamente como montador de plantas y asistente de campo. Filogonio también contribuyó al desarrollo del Herbario a través de su conocimiento de la flora de la península de Yucatán, identificando plantas en el campo y en el Herbario.

Por esas mismas fechas, y con el financiamiento de la Conabio, se contrata por honorarios al biólogo Jorge Carlos Trejo-Torres, a la técnica en computación Miriam Juan-Qui y a la bióloga Lilia Can Itzá, quienes participaron en la curación del Herbario y la captura de la información de las muestras para la base de datos, particularmente asociadas al proyecto de plantas endémicas del Dr. Durán. Miriam Juan-Qui finalmente obtendría una plaza fija en el Centro y trabajaría en el Herbario hasta el año 1999. La bióloga Can Itzá trabajó en el Herbario durante el periodo 1995-1996. Luego se reincorporó en 1999, esta vez con una plaza fija, quedando a cargo de la captura de la información de la base de datos. Ella desempeñó ese cargo hasta el año 2006, cuando en el marco de un cambio de políticas de Conacyt para reducir el apoyo técnico, se convirtió en técnica asociada a un investigador asociado al Herbario. El trabajo del Herbario CICY durante la primera fase de la base de datos culminó con la publicación de un listado florístico por el Dr. Durán y colaboradores en el año 2000, que ha sido una herramienta importante en la investigación y la toma de decisiones sobre conservación en el área de la península de Yucatán.

En 1996, el Dr. Germán Carnevali Fernández-Concha asumió la curaduría del Herbario y comenzó un periodo de actividades caracterizado por tener como prioridad mejorar la curación taxonómica de las colecciones. En 1998 se inició el proyecto “Flora Ilustrada de la Península de Yucatán” (FIPY) con financiamiento de la Conabio. Con los recursos de este proyecto, se llevaron a cabo múltiples salidas de campo en la península de Yucatán. Además, en el marco del proyecto de curación sistematizada de la colección, se envían préstamos y regalos para determinación a especialistas nacionales e internacionales y se estableció un plan de intercambio sistemático y regular con varias instituciones nacionales y del exterior. En 1998 se contrató al biólogo José Luis Tapia-Muñoz por honorarios como técnico del proyecto FIPY, mientras que en 1999 se contrató a la bióloga Silvia Hernández Aguilar para que apoyase el trabajo curatorial asociado al Herba-

rio. Al biólogo José Luis Tapia-Muñoz se le concedería una plaza en el año 1999 y desde entonces se ha dedicado a las actividades de curación taxonómica del Herbario. La Lic. Hernández-Aguilar, al poco tiempo de su contratación, fue comisionada para coordinar las colecciones accesorias del Herbario, incluyendo la biblioteca del mismo.

Con la contratación del Dr. Carnevali, y poco tiempo después, en enero de 1997, de la Dra. Ivón M. Ramírez, ambos ahora afiliados a la recién creada Línea de Sistemática y Florística (LSF), el Herbario inició una etapa caracterizada por tener taxónomos que le están asociados permanentemente. Así, se iniciaron programas de solicitud y obtención de préstamos de herbarios nacionales e internacionales, en conexión con los proyectos de investigación de los mencionados investigadores y de sus estudiantes de pregrado y posgrado. En el año 2003, se contrató al Dr. Rodrigo Duno de Stefano, en el marco de un plan de incrementar las capacidades académicas de la LSF, y en 2009 se le ofreció un contrato a la Dra. Ivonne Sánchez del Pino, quien había llegado al CICY como postdoctorante de un proyecto del Dr. Carnevali y también se afilia a la LSF, donde viene a contribuir su experiencia en sistemática molecular.



### **El Herbario CICY en el presente**

El Herbario CICY, uno de cinco herbarios residentes en el área, constituye la colección más grande y completa de plantas de la Provincia Biótica Península de Yucatán (PBPY). En el momento de escribir esto, el Herbario incluye cerca de 67 mil ejemplares y se están incorporando varios miles más. Con esta cifra, CICY es uno de los diez primeros herbarios en México en número de ejemplares. Más importante, es el herbario más grande en el sureste de México y hacia el Sur habría que llegar hasta el herbario EAP, en Honduras, para conseguir uno que lo exceda en número de ejemplares. Cualquier estudio serio que involucre a la PBPY debe incluir consultas a la colección del Herbario CICY, que dicho sea de

paso, el Herbario CICY que dicho sea de paso, es una de las instituciones más activas entre los herbarios de México.

En estos momentos, el Herbario tiene cuatro investigadores cuyas labores de investigación están directamente asociadas con las colecciones que alberga. Brevemente mencionaré las áreas de especialidad de cada uno de ellos: Germán Carnevali Fernández-Concha, quien trabaja con las orquídeas del Neotrópico (particularmente grupos de las Maxillariinae, Laeliinae y Oncidiinae); también tiene intereses en la flora y fitogeografía de la PBPY. Ivón Mercedes Ramírez Morillo es especialista en la familia Bromeliaceae, y está interesada en particular en el género *Hechtia* Klotzsch y varios grupos del género *Tillandsia* L. Rodrigo Duno es especialista en las leguminosas (Fabaceae) y tiene un importante proyecto sobre el género *Pithecellobium* Mart. Al igual que el Dr. Carnevali, también tiene intereses en la flora y fitogeografía de la PBPY. Ivonne Sánchez del Pino estudia la familia Amaranthaceae y conduce un ambicioso proyecto sobre el género *Alternanthera* Forssk. También los técnicos del Herbario tienen sus grupos taxonómicos de especialidad y contribuyen substancialmente a la labor curatorial y de investigación que se lleva a cabo en el Herbario CICY. José Luis Tapia Muñoz es conocedor de las Convolvulaceae, las Asteraceae y otras familias; por otra parte, es una de las personas que mejor conoce la flora de la PBPY. Silvia Hernández Aguilar es especialista en familias tales como las Primulaceae, Menispermaceae, Theophrastaceae y Portulacaceae.

El Herbario CICY mantiene relaciones y convenios de diversa índole con múltiples herbarios homólogos en México y el resto del mundo. Estas relaciones incluyen intercambio de material herborizado, lo que se constituye en una forma importante de diversificar y enriquecer la colección del Herbario. También el Herbario solicita y realiza préstamos de material de herbario como apoyo a la investigación de nuestros estudiantes y de los de las instituciones solicitantes. Estas actividades están limitadas por las restricciones presupuestarias naturales de un centro como el CICY. Sin embargo, en general, el Herbario se las ha arreglado para cumplir con sus obligaciones y ofertas en este tipo de actividad.

Además de servir como eje para la investigación científica del personal asociado, el Herbario CICY constituye una poderosa herramienta para la formación de recursos humanos. Esta función se cumple de varias maneras. Una de ellas es la vinculación del Herbario con los proyectos de investigación de los estudiantes del

Posgrado en Ciencias del CICY, en particular de aquellos de la Unidad de Recursos Naturales. Los estudiantes de aspectos ecológicos de la PBPY consultan el Herbario para entender la distribución, fenología y otros factores de la vegetación y flora del área. Otros investigadores y estudiantes consultan el Herbario para entender la distribución y usos de plantas portadoras de compuestos bioactivos o reputadas como medicinales. De la misma manera, el Herbario se constituye en el depositario de los ejemplares de respaldo que generan estas investigaciones, funcionando como un garante de la legitimidad de la investigación que se lleva a cabo en estos campos. La liga es particularmente fuerte con los estudiantes de la LSF, ya que el Herbario CICY sirve como vehículo para la solicitud y albergue temporal del material en préstamo requerido por los proyectos de tesis. Asimismo, el Herbario apoya la formación de recursos humanos a nivel de pregrado, *vía* la colaboración con tesis de licenciatura de estudiantes de las universidades e institutos técnicos del área. Por otra parte, el Herbario ofrece regularmente charlas y visitas a las instalaciones del mismo, ocasiones donde se divulgan las funciones de los herbarios en general y del Herbario CICY en particular. Así, se constituye en vital herramienta para la creación de una conciencia sobre la importancia de llevar a cabo estudios sobre la biodiversidad y su conservación.

El Herbario CICY posee, además de la colección principal de material herborizado, una variedad de colecciones accesorias, que potencian su utilidad como herramienta de investigación, divulgación y formación de recursos humanos. Una de ellas es la biblioteca del Herbario, la segunda más grande del Centro. Ésta posee múltiples libros relacionados con la florística y la sistemática, la mayoría de los cuales no están duplicados en la biblioteca principal del Centro. También incluye colecciones más o menos completas de varias publicaciones seriadas sobre estos tópicos. La biblioteca es consultada regularmente por investigadores y estudiantes del Centro y de otras instituciones. Mucho de su acervo se ha construido *vía* donaciones o venta de material de herbario duplicado a instituciones del exterior. Existe una incipiente xiloteca, que ha crecido a base de donaciones pero que carece de un especialista que la cure e incremente. Además de la biblioteca, el Herbario mantiene y cura colecciones de material botánico preservado en líquido. Hay también una pequeña pero importante colección de ejemplares tipo y de iconografía asociada a los proyectos de investigación y a la flora de la PBPY.

Una de las fortalezas del Herbario CICY es su base de datos. Ésta registra toda la información de las etiquetas de todos los especímenes del acervo. Además, registra datos del estado fenológico de los ejemplares y otros caracteres no incluidos expresamente en la etiqueta. La base de datos permite hacer una variedad de consultas sobre la flora y vegetación de la PBPY, así como de su ecología y usos. A través de los apoyos por la Conabio para el desarrollo de esta base de datos, el Herbario CICY ha consolidado parcialmente su infraestructura y ha servido como puerta de entrada de algunos de los miembros de su personal.

El Herbario tiene un proyecto de investigación central, la “Flora Ilustrada de la Península de Yucatán”. Mucho del trabajo curatorial y de campo del Herbario está orientado a satisfacer las necesidades de este proyecto. Se prevé la próxima publicación de un listado florístico actualizado sobre la flora de la porción mexicana de la PBPY seguido del inicio de la publicación de los volúmenes de la flora propia. La investigación asociada a este proyecto ha resultado en la publicación de unos 29 artículos relacionados con la flora de la Península, cuatro de ellos aún en prensa. Estas contribuciones reportan, documentan y discuten, entre otras cosas, unas 80-85 especies nuevas para la PBPY. Estos reportes, incluyen ocho familias y 41 géneros considerados novedades para el área. Es de mencionar que con las especies aún no reportadas oficialmente en prensa, el total de novedades identificadas para la flora de la PBPY asciende a 129 especies registradas por primera vez para el área, de las cuales 23 han resultado ser novedades para la ciencia.

### **Hacia el futuro**

El futuro del Herbario CICY es básicamente el de continuar con la labor y misión de conservar la colección más completa de plantas de la Provincia Biótica Península de Yucatán. Proyectamos llevar la colección hasta los 100 mil ejemplares en el curso de los próximos 10 años, incorporando unas 3,500 colecciones por año. Este crecimiento se lograría con la consecución de uno o más proyectos que generen las colecciones y nos permitan adquirir los armarios necesarios para albergar las colecciones adicionales.

Asimismo, el Herbario CICY se consolidará como una herramienta fundamental de formación de recursos humanos a

través de la intensificación de las relaciones con los posgrados del Centro y con los de otras instituciones.

El proyecto de la flora eventualmente culminará en la publicación de varios tomos con los múltiples tratamientos florísticos. Más allá de la flora, el Herbario continuará siendo el fundamento para estudios de distribución y límites entre especies, así como para estudios ecológicos, fenológicos y etnobotánicos.



## **La investigación en Química de Productos Naturales en el CICY**

*Luis Manuel Peña Rodríguez*

El objetivo general de los trabajos de investigación en Química de Productos Naturales que se realizan en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) es el de promover la conservación de la biodiversidad en la península de Yucatán realizando investigación de frontera en el área de metabolitos secundarios bioactivos.

Se ha sugerido que el estudio de especies vegetales poco conocidas, como fuentes de productos naturales con actividad biológica con posibles aplicaciones en áreas económicamente importantes como la Farmacia y la Agricultura, puede contribuir a la protección de la biodiversidad; esto debido a que el reconocimiento del valor económico de una fuente natural en particular, conlleva a una mayor atención a su conservación. La flora de la Península de Yucatán, aunque ha sido estudiada ampliamente desde finales del siglo pasado por biólogos y naturistas, cuenta con un número limitado de estudios fitoquímicos y farmacológicos.

Actualmente se reportan cerca de 2,300 especies de plantas con flores en la Península, de las cuales 168 son endémicas o nativas; estos dos grupos de plantas representan las especies más amenazadas por la extinción dados los procesos de transformación del ambiente.

Actualmente, las plantas y los hongos, como fuentes naturales de nuevos y mejores productos farmacéuticos y plaguicidas, son objeto de un renovado interés por parte de las industrias farmacéutica y agrícola. Asimismo, la importancia de los metabolitos secundarios como marcadores quimiotaxonómicos en especies vegetales es ampliamente reconocida, como lo es también la importancia del papel que juegan durante las interacciones planta-herbívoro o planta-patógeno. Lo anterior ha dado como resultado un intenso desarrollo en las metodologías de purificación y en el campo de las técnicas de bioensayo para la detección de actividad

biológica, lo que a su vez ha permitido llevar al cabo, con mayor facilidad, la purificación biodirigida de metabolitos bioactivos producidos por plantas.

En el área de salud pública, la detección y el conocimiento de los diferentes metabolitos de importancia producidos por especies vegetales pueden llevar al establecimiento de patrones analíticos, que permitan la estandarización y el control del uso de las plantas más comúnmente utilizadas en la medicina herbolaria de nuestro país. Igualmente, este conocimiento puede ser utilizado para la selección de líneas elite de plantas que, dado su alto contenido de uno o más productos de interés, puedan ser micropropagadas y cultivadas bajo condiciones controladas.

Por otra parte, en el área agrícola, la importancia del estudio de los hongos fitopatogénicos está dada por el hecho de que estos microorganismos producen metabolitos secundarios llamados fitotoxinas, considerados como los metabolitos responsables de inducir condiciones favorables para que ocurra la infección de la planta por el patógeno. Se reconoce que la capacidad de infección de un hongo depende de su capacidad para producir las fitotoxinas correspondientes, por lo que la purificación y caracterización de estos metabolitos puede permitir su utilización en los procesos de selección *in vitro* de líneas de plantas resistentes a enfermedades.

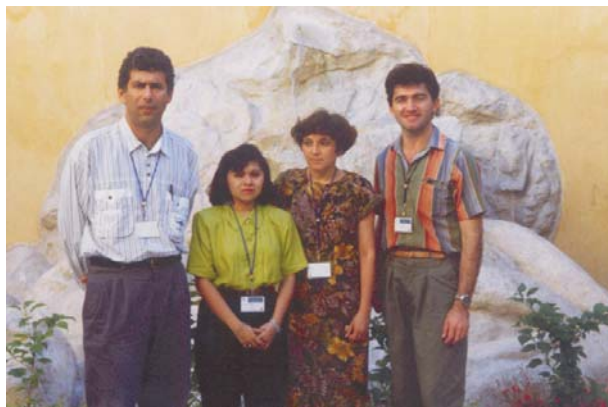
Inicialmente, los trabajos realizados en el Departamento de Química Orgánica del CICY estuvieron dirigidos al aprovechamiento de las sapogeninas esteroidales contenidas en los jugos resultantes del desfibrado de las hojas de henequén (Fig. 1).



**Figura 1.** Personal del Departamento de Química Orgánica del CICY en 1989 (de izq. a der.): Leonardo Gus, Felipe Barahona, Mirbella Cáceres, Marcela Gamboa, Luis Flores, Reyna Flores, Glenni Osorio, Jorge Reyes, Teresa Aguilar.

En 1990 se logró la aprobación del primer proyecto financiado por la *International Foundation for Science* (IFS) ("*Detection, isolation and identification of bioactive metabolites produced by*

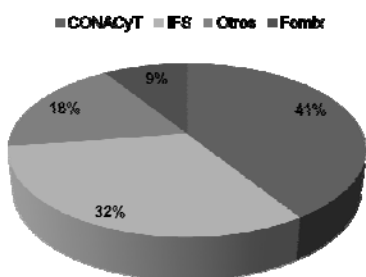
*medicinal plants of the Yucatan Peninsula*"), que permitió establecer formalmente el Grupo de Química Orgánica del CICY y las bases de lo que actualmente es una línea de investigación importante en la institución, el estudio de la flora de la península de Yucatán como fuente potencial de nuevos metabolitos bioactivos. Los trabajos de investigación del Grupo de Química Orgánica se iniciaron con dos estudiantes de Licenciatura (Yazmín del Carmen Ojeda Uc y Rocío de Lourdes Borges Argáez) y un Investigador Asociado (M.C. Sergio Peraza Sánchez) (Fig. 2). El apoyo de la IFS en el establecimiento de una línea de investigación en Química de Productos Naturales en el CICY fue determinante, particularmente durante las primeras investigaciones. Además del proyecto inicial, renovado en dos ocasiones (1995 y 1997), tanto el Dr. Peraza Sánchez, como la Dra. Borges Argáez, al establecerse como investigadores independientes en la Unidad de Biotecnología, también recibieron el apoyo de la IFS para llevar a cabo sus primeros trabajos de investigación.



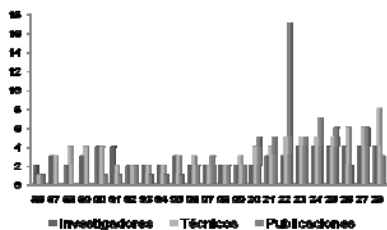
**Figura 2.** Integrantes del Grupo de Química Orgánica del CICY en 1990 (de izq. a der.): Luis M. Peña, Yazmín Ojeda, Rocío Borges, Sergio Peraza.

En 1994 se recibió el primer apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) para iniciar formalmente una línea de investigación relacionada con el papel de los productos naturales en los procesos de interacción planta-patógeno ("Detección, aislamiento e identificación de metabolitos fitotóxicos producidos por *Alternaria tagetica*"). Adicionalmente, la incorporación de la MC María Marcela Gamboa Angulo como estudiante de Doctorado a este proyecto, marcó el inicio de la formación de recursos humanos a nivel de posgrado en el área de Química de Productos Naturales. Posteriormente, como parte de un "Higher Education Link" ("Bio-

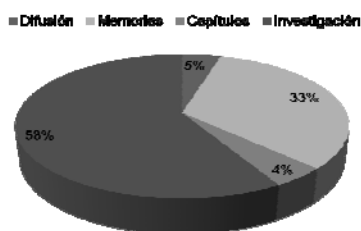
prospecting. Development of screening and phytochemical skills") aprobado por el Consejo Británico, que apoyó estancias de investigadores y técnicos en laboratorios ingleses, la QFB Rocio de Lourdes Borges Argáez llevó a cabo sus estudios de doctorado en la Universidad de Strathclyde (Escocia)/Sothern Cross (Australia), como parte de una colaboración con el Prof. Peter G. Waterman. Actualmente el área de Química de Productos Naturales cuenta con un número importante de proyectos financiados por diferentes organismos, incluyendo Conacyt, Fomix, Fundación Yucatán Produce y diferentes agencias internacionales (Fig. 3), para llevar a cabo el estudio de los metabolitos fitotóxicos producidos por *Mycosphaerella fijiensis* y *Phytophthora capsici*, así como la identificación de las fitoalexinas de banano y la búsqueda de nuevos agentes antiprotozoarios, antituberculosos y pesticidas en la flora y microflora de la península de Yucatán. La difusión de los resultados obtenidos, en forma de presentaciones en congresos nacionales e internacionales, así como de publicaciones en revistas nacionales e internacionales con arbitraje (Fig. 4 y 5), ha traído como consecuencia el reconocimiento de los trabajos de investigación realizados por el grupo, tanto en el país como en el extranjero.



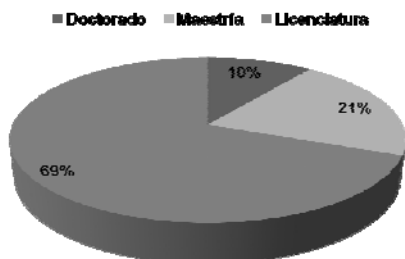
**Figura 3.** Proyectos financiados en el área de Química de Productos Naturales (1990-2008).



**Figura 4.** Personal y productividad en el área de Química de Productos Naturales (1986-2008).



**Figura 5.** Tipos de publicaciones en Química de Productos Naturales (1986-2008).



**Figura 6.** Tipos de tesis en Química de Productos Naturales (1986-2008).

La naturaleza interdisciplinaria implícita en las tareas de investigación en Química de Productos Naturales ha resultado en el establecimiento de proyectos y convenios de colaboración con diferentes grupos, tanto a nivel institucional como a nivel nacional e internacional, que han contado con el apoyo de agencias nacionales como el Conacyt y la Academia Mexicana de Ciencias, e internacionales como el Consejo Británico, la Agencia Española de Cooperación Internacional, el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), el Programa Alfa de la Comunidad Económica Europea, y el Programa de Intercambio Internacional de *The Royal Society*. Asimismo, como parte integral del desarrollo del equipo de trabajo, se ha promovido activamente la superación académica de estudiantes y técnicos apoyando su participación en cursos y programas de posgrado en instituciones nacionales y extranjeras. Actualmente, los investigadores dedicados a la investigación en Química de Productos Naturales participan activamente como profesores en los diferentes programas de posgrado del CICY y de otras instituciones locales, y contribuyen de manera significativa a la formación de recursos humanos en los diferentes niveles (Fig. 6). Adicionalmente, cada uno de los investigadores participan en diferentes Comités de Evaluación de Conacyt, como árbitros en la evaluación de manuscritos enviados a diferentes revistas nacionales e internacionales y como miembros de Comités de Exámenes de posgrado en instituciones de educación superior locales, nacionales e internacionales. Finalmente, cabe mencionar que, como parte de las actividades académicas realizadas por el Grupo de Química Orgánica para fortalecer el área de investigación en Química de Productos Naturales, se ha impartido el curso de Educación Continua “Técnicas de Investigación Fitoquímica”, tanto en el CICY (2004), como en las Universidades de Guadalajara (2003), Nuevo León (2006) y Nayarit (2009), y se han organizado eventos académicos tales como el XIII Taller de Otoño “La importancia de los productos naturales en farmacia y agricultura” (1995), los cursos internacionales “Metodologías en la Búsqueda de Nuevos Com-

puestos Líderes en Plantas" (1999) y "Obtención de productos químicos por métodos biotecnológicos" (2001), y la Primera Reunión Nacional de Química de Productos Naturales (2004), que han contado con la participación de reconocidos investigadores nacionales y extranjeros.

Actualmente, los proyectos de investigación en Química de Productos Naturales que se realizan en la Unidad de Biotecnología del CICY cuentan con la colaboración de diferentes grupos de trabajo, tanto en la institución como a nivel nacional e internacional. Así, para la localización e identificación de las diferentes especies vegetales se cuenta con el apoyo del personal de la Unidad de Recursos Naturales; en tanto que las colaboraciones con la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas han sido determinantes para el establecimiento de líneas de cultivos vegetales utilizadas en la producción de metabolitos secundarios, así como para la elucidación de la ruta bioquímica involucrada en la producción de un metabolito o un grupo de metabolitos de interés, o para establecer el mecanismo de reconocimiento que ocurre durante la interacción planta-patógeno; de igual forma, para la selección de líneas de plantas resistentes al ataque de patógenos, o para la generación de plantas elite por métodos de micropropagación, se ha recurrido a la experiencia de los investigadores en la Unidad de Biotecnología. Finalmente, las colaboraciones con instituciones nacionales y extranjeras continuarán siendo de particular importancia para la evaluación de algunos tipos de actividad biológica (e. g. antiprotozoaria, citotóxica, antituberculosa, insecticida, etc.), así como para el entrenamiento de personal y estudiantes, y para el apoyo con servicios bibliográficos y de espectroscopía de alta resolución.

La vinculación de la investigación en Química de Productos Naturales con el sector productivo se contempla a futuro, dada la capacidad de los diferentes proyectos para desarrollar nuevos productos con potencial promisorio para el control de enfermedades en humanos, animales o plantas, así como para establecer métodos analíticos para el control de especies vegetales utilizadas en la medicina herbolaria y para el desarrollo de líneas de plantas resistentes a enfermedades.

El Grupo de Química Orgánica del CICY, que se incorporó formalmente a la Unidad de Biotecnología del CICY en 1998, es hasta ahora el único grupo de investigación en México que tiene como una de sus líneas de investigación el estudio de los metabo-

litos bioactivos producidos por hongos fitopatogénicos de interés comercial y es también el único grupo de investigación en el país que se propone llevar al cabo un estudio fitoquímico sistemático de la flora y microflora nativa de la península de Yucatán, como fuente potencial de nuevos fármacos y pesticidas. Actualmente, todos los investigadores que trabajan en el área de la Química de Productos Naturales pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores y todos han recibido diferentes distinciones como resultado de su trayectoria académica, incluyendo reconocimientos por parte de la Academia Mexicana de Ciencias y de la *International Foundation for Science*.

Los proyectos de investigación en Química de Productos Naturales que actualmente se llevan a cabo en la Unidad de Biotecnología del CICY cuentan con la participación de cuatro investigadores titulares, siete técnicos académicos, tres postdoctores, diez estudiantes de doctorado, siete de maestría y doce de licenciatura (Fig. 7); el personal cuenta con los conocimientos y la experiencia necesarios para realizar investigación básica y aplicada en áreas de importancia tales como la quimiotaxonomía, la identificación de metabolitos bioactivos con aplicaciones en farmacia y agricultura, la producción de metabolitos de interés en cultivos de tejidos vegetales, y el estudio del papel de los productos naturales en las interacciones planta-insecto y planta-patógeno.



**Figura 7.** Investigadores, técnicos y estudiantes del área de Química de Productos Naturales de la Unidad de Biotecnología del CICY (2008).





# Mejoramiento genético del cempasúchil: El desarrollo de líneas clonales sobreproductoras

*Proyecto desarrollado para la Compañía Laboratorios Bioquimex, S.A. de C.V.*

*Manuel Robert*

En 1987, el Dr. Fernando García Hernández, Director de Investigación y Desarrollo de la Compañía Bioquimex, visitó el CICY en busca de proyectos de investigación para mejorar la productividad de las plantaciones de cempasúchil (*Tagetes erecta*) especie de la que extraían una mezcla de pigmentos carotenoides entre los que destaca la luteína empleada en los alimentos balanceados para la pigmentación de la piel del pollo y la yema del huevo.

*Tagetes erecta* es una planta herbácea perenne de la familia compositae, que produce gran cantidad de inflorescencias amarillas de las que se extrae el pigmento. Aunque parecen flores, las inflorescencias están formadas por muchas flores pequeñas de formas y tamaños diversos que forman estructuras complejas de mezclas de flores que determinan la morfología de la inflorescencia. Algunas flores son liguladas femeninas y otras tubulares masculinas. Dependiendo de la proporción y distribución de flores liguladas y tubulares, las inflorescencias presentan apariencias que van, desde un tipo “margarita” con un centro de flores tubulares pequeñas rodeadas por un anillo de flores liguladas con apariencia de pétalos denominada “inflorescencias sencillas”, hasta un pompón de flores liguladas semejante a un crisantemo, denominadas “inflorescencias dobles”. Entre ambas, toda una gama de “inflorescencias intermedias” con diferentes proporciones de flores tubulares y liguladas, desde sólo algunas decenas de flores (3-4 cm de diámetro) hasta más de 300 flores y cerca de 15 cm de diámetro. La intensidad del color va desde un amarillo limón muy pálido hasta un anaranjado intenso.

Todos estos tipos podían observarse mezclados, en proporciones variables, dentro de una misma plantación derivada de la semilla denominada Apaseo mejorada “criolla” que era producida por la compañía y que, muy probablemente, tenía su origen en materiales silvestres colectados en México. Como es fácil imaginar, el rendimiento de biomasa de estas mezclas de inflorescencias, que constituía la materia prima para la extracción de la resina de pigmentos, era muy variable y pobre, sobre todo si se le comparaba con la alternativa que ofrecían las semillas comerciales que venden compañías como Burpee y *American seed*. La razón para no sembrar estas semillas alternativas era doble: por un lado, su elevado costo y por el otro, su enorme susceptibilidad a enfermedades producidas por hongos fitopatógenos, entre los que *Alternaria tagetica* era el principal villano.



**Figura 1.** Variabilidad. Muestra los diferentes tipos de inflorescencias presentes en las plantaciones de la variedad “Criolla Apaseo mejorada” que se sembraba en ciertas áreas de México. La enorme heterogeneidad constituía una seria limitante al rendimiento de las plantaciones.

Las opciones eran claras: modificar por ingeniería genética las variedades comerciales para transferirles genes de resistencia a hongos; iniciar un programa de mejoramiento por medio de cruza y retrocruza entre líneas de alto rendimiento (inflorescencias dobles) y líneas resistentes a *Alternaria* o buscar una forma de incrementar la productividad de la variedad criolla que ya era resistente. Las dos primeras fueron descartadas, principalmente porque se requería de material que pertenecía a otras compañías y por las cuales, aun en el caso de que se lograra una negociación favorable, hubiera sido necesario pagar fuertes sumas por regalías. Se decidió, por lo tanto, explorar la tercera.

La propuesta inicial del CICY consistió en un proyecto para desarrollar un método para clonar individuos sobresalientes de *T. erecta* y estudiar la homogeneidad y estabilidad de sus inflorescencias. En noviembre de 1987 se firmó un primer convenio con la compañía para el desarrollo de un método de clonación. Se estudiaron varios métodos de cultivo, pero el que dio mejores resultados fue el microesquejamiento de plántulas cultivadas *in vitro* a las que se removía la yema apical para romper la dominancia apical y favorecer el desarrollo de yemas laterales. La repetición de este proceso generaba un incremento exponencial que permitió generar líneas de algunos cientos de individuos en unos cuantos meses.

Las líneas, cuyos nombres reflejaban solamente su origen y número de identificación de la planta madre: Oax 1 (línea derivada de la planta 1 de Oaxaca), LP 20, etc., fueron probadas en los viveros del CICY. Los resultados no pudieron ser más alentadores: todas las líneas mostraron una absoluta homogeneidad y fidelidad al tipo de la planta madre de la cual se derivaban, fuesen éstas inflorescencias sencillas, intermedias o dobles.



**Figura 2.** Selección y clonación de individuos elite: a) Fernando García y Sinclair Mantell seleccionando material en campo; b) inflorescencia doble de la línea elite C 20; c) material clonal en fase experimental; d) evaluación en vivero de material clonal (obsérvese la homogeneidad).

El siguiente paso fue evaluar su desempeño en el campo. Bioquimex quería saber si se desempeñarían igual en manos de sus productores que bajo los amorosos cuidados del personal del proyecto que les cantaba, las regaba y les espantaba las moscas. Se acordó micropropagar 60 mil plantas de las líneas más prometedoras. Éste fue nuestro primer encuentro con los problemas de producción a escala, algo para lo cual no estábamos preparados ni metodológicamente ni desde el punto de vista de infraestructura. Las cosas fueron aún más difíciles, pues la visita del Huracán Gil-

berto destruyó las plantas que se encontraban en adaptación en vivero y se perdió material *in vitro* por la elevada humedad en los cuartos de cultivo. En aquel entonces no teníamos una planta de emergencia y el CICY estuvo sin energía eléctrica durante varios días. La producción se resolvió por un *tour de force* en el que el espíritu de equipo que existía en aquel aún pequeño CICY fue definitivo. Hubo que trabajar horas extras y fue necesario reprogramar todo el trabajo de otros proyectos de investigación para dar cabida al tiempo requerido en las campanas de flujo laminar, por lo que es necesario hacer un reconocimiento a todo el personal de la División por su cooperación y apoyo en aquellos momentos difíciles.

Las pequeñas vitroplantas fueron transplantadas a tierra en charolas de poliestireno y enviadas a Michoacán para ser evaluadas en campo. El envío no fue sencillo, ya que *Tagetes* es muy sensible al fotoperiodo y 24 horas de oscuridad continua podrían haber inducido el inicio de la floración, lo cual hubiera estropeado las pruebas. Las plantas se enviaron por avión en cajas con ventanas de celofán especialmente diseñadas para ello por Tomas González y hubo que negociar con la aerolínea que se les diera un trato especial y no fueran a ponerlas de cabeza.



**Figura3.** Producción, envío y evaluación en campo de materiales clonales: a) Ilianita sembrando los materiales clonales producidos *in vitro*; b) cajas con ventanas para el envío de las clonas; c) transporte aéreo; d) parcelas de evaluación en Oaxaca.

Las plántulas llegaron bien y fueron sembradas en parcelas de la compañía. La espera de los resultados de la cosecha fue angustiada, pues pondría de manifiesto si la metodología podría ser aplicada a la mejora productiva de las plantaciones o si habíamos perdido el tiempo jugando en el laboratorio. Los resultados fueron

espectaculares. Un campo cubierto de inflorescencias dobles de gran tamaño que produjeron más de tres veces la biomasa de las plantas de la variedad criolla sembradas a su lado. Teníamos líneas capaces de sobreproducir en el campo, la tecnología fue aceptada por Bioquimex y el CICY tenía las primeras regalías generadas por su trabajo de investigación. Pasamos la etapa fácil; lo difícil empezaba ahora. Pronto se firmó un nuevo convenio bajo el título “Estudios Fisiológicos, Bioquímicos y de Mejoramiento Genético de la Flor de Cempasúchil”.

Producir 60 mil plantas fue relativamente fácil, pero producir los 500 millones de plantas requeridas para sembrar 5,000 Ha con una densidad de 100,000 plantas/Ha, era imposible. El mismo principio que habíamos establecido para los agaves, referente a que el material micropropagado de líneas elite sólo debe ser empleado como material fundación para la producción de semilla en campo se aplicaba aquí de manera aún más contundente. A partir de este punto, la estrategia consistió en generar y caracterizar líneas parentales para la producción de semilla por métodos sexuales. En otras palabras: devolverle a *Tagetes* un poco del *Joy du vivre* que le habíamos quitado. Tomás inició, entonces, un extraordinario trabajo de cruza controladas para ver si había algún carácter dominante en la determinación del tipo de inflorescencia que permitiera programar la producción de semilla mejorada por medio de polinización controlada entre líneas parentales clonales.



**Figura 4.** Producción de nuevas líneas por polinización controlada: a) flores polinizadas manualmente y embolsadas en los viveros del CICY; b) línea clonal de inflorescencias sencillas; c) inflorescencia de la progenie C20-M16.

Tuvimos mucha suerte: la autopolinización y la polinización cruzada controladas de clonas con diferentes tipos de inflorescencias llevaron a la identificación de líneas que parecían ser dobles

dominantes para el carácter de inflorescencia doble, ya que toda su descendencia producía inflorescencias dobles independientemente de que la otra línea parental fuese intermedia o sencilla. De la misma manera, la inflorescencia sencilla parecía deberse a la ausencia del gen dominante, ya que la cruce de plantas con inflorescencias sencillas producía únicamente plantas con inflorescencias sencillas. La cruce de dos intermedias generaba plantas con inflorescencias dobles, intermedias y sencillas en una proporción que no era exactamente 1:2:1 pero con mayor proporción de intermedias que de dobles o sencillas, lo que siguiere una condición heteróciga para este carácter. Esta explicación podría ser una sobresimplificación del sistema que controla el tipo de inflorescencia y un efecto de dosis génica podría explicarlo de manera más adecuada, pero ya no hubo tiempo para continuar con un estudio más fino sobre el tema.

Lo anterior, sin embargo, permitió establecer una estrategia de producción de semilla permitiendo la polinización cruzada abierta de líneas clonales con inflorescencias dobles e intermedias. Toda la semilla colectada de estas flores era sembrada en plantaciones generando cien por ciento de inflorescencias dobles. El desarrollo comercial de un proceso para la producción de semilla de “Flor de Cempasúchil” se estableció en La Paz, Baja California Sur, por ser ésta una zona libre de plantaciones o de plantas silvestres cuyo polen pudiera contaminarla y reducir la producción de semilla doble. A cargo de ello estuvo Ángel Alonso, con quien tuvimos una excelente relación de trabajo que fue definitiva para el desarrollo de las líneas. Los campos de producción de La Paz también sufrieron los estragos de un ciclón que afectó la producción de la semilla mejorada, ya que acostó prácticamente todas las plantas de los cultivos que se tenían para ese fin, lo que retrasó enormemente el trabajo.

Durante el proceso de aclimatación *ex vitro*, Fernando Contreras desarrolló un proceso de esquejamiento que redujo los costos de producción de las líneas clonales al complementar la propagación *in vitro*: las vitroplantas que eran transferidas a bolsas con tierra para su enraizamiento y adaptación *ex vitro* eran mantenidas en una cama de agua bajo sombra. Si estas plantas se dejaban crecer lo suficiente y se decapitaban, desarrollaban brotes laterales que no sólo aumentaban grandemente el número de individuos por clona, sino que ya estaban adaptados al ambiente y se desarrollaban más rápidamente.

Bioquimex tuvo dos años de gracia para evaluar la tecnología que aceptó oficialmente el 1 de noviembre de 1995 reconociendo que la productividad alcanzada por la semilla generada era excelente.



**Figura 5.** Aceptación de la tecnología: a) plantación de las líneas C16M9 x Oax 1 en los Mochis, Sinaloa; b) carta firmada por el Ing. Mercado notificando la aceptación de la tecnología.

El final, sin embargo, no es un final feliz. Bioquimex, la compañía familiar manejada por el Lic. Renato Ibarra Peynetti y por la Dra. Lia Blaistein y sus hijos, con la que iniciamos los trabajos, había cambiado mucho. En diciembre de 1987 fue comprada por Industrias Resistol y pasó a formar parte del corporativo DESC. Posteriormente, fue fusionada con Industrias Reqa dando lugar a Bioquimex-Reqa. Eventualmente, se hizo una iniciativa conjunta con la compañía A.V. Thomas, con sede en Cochín, India, y fuimos instruidos a entregarles el banco de clonas. Sé, por información verbal, que en la India, bajo sistemas de cultivo diferentes y otras condiciones climáticas, se alcanzaron rendimientos aún más altos, que a mí me hubiera gustado ver en México pero no fue así. Finalmente, al pasar de los años, Bioquimex fue liquidada y todo lo que aquí he relatado es historia.

Un aspecto particularmente satisfactorio de este proyecto era el hecho de que aunque beneficiara principalmente a la compañía, los incrementos en rendimiento por hectárea se traducían en un mayor beneficio económico para los pequeños productores contratados por la compañía, quienes podían triplicar su producción con la misma cantidad de trabajo y superficie sembrada.

Este proyecto, desde la primera visita de Fernando al CICY hasta su terminación, se desarrolló a lo largo de un periodo casi diez años que representaron una plétora de experiencias que, desafortunadamente, se pierden al no tener la institución una oficina y una estrategia establecida de vinculación. El proyecto estuvo durante todo este tiempo bajo mi dirección y un buen día cambió de manos y yo me quedé (y casi he olvidado) con las experiencias y el análisis de lo que fue exitoso, pero también de los muchos problemas, tanto técnicos como humanos, que se presentaron a lo largo de casi diez años.

En retrospectiva, podemos decir que fue un proyecto muy exitoso, pero fue particularmente satisfactorio por la gran cantidad de conocimiento y aplicaciones que generó y por las múltiples experiencias en el trato con tanta gente en México y en otras partes del mundo. Un aspecto particularmente enriquecedor fue la colaboración con Sinclair Mantell y Frank Taylor, de Wye College (University of London), con quienes Pilar Contreras y Jesús Quiroz realizaron sus tesis de maestría y doctorado, respectivamente.

Fueron muchas las personas que colaboraron en las diferentes facetas de este proyecto y espero que este escrito sirva para que vuelvan a sentir satisfacción por aquello a lo que contribuyeron. En orden alfabético y esperando no olvidar a nadie, en el CICY: Margarita Aguilar, Mario Arce, Bartolomé Chi Manzanero, Fernando Contreras, Tomás González, Javier Mijangos, Jesús Quiroz, Adriana Quiroz, Leticia Peraza.

La relación de trabajo con la empresa es algo que debe resaltarse, ya que pese a los problemas y malentendidos que hubo en algunos momentos, el éxito del proyecto se basó en la clara definición de objetivos, la continua comunicación, el análisis conjunto de los resultados y el compromiso mutuo de superar los problemas que se presentaron a lo largo del desarrollo del proyecto. Bioquímex era una compañía con visión tecnológica que estaba dispuesta a buscar y financiar sus desarrollos en México y aún así era típicamente mexicana en su idea del tiempo/beneficio de la investigación. Fernando merece una mención especial, ya que fue



el promotor y el alma del proyecto durante la mayor parte de su desarrollo, pero entenderse con él era fácil. ya que venía del mundo académico (UNAM) al igual que Francisco Medina y Vicente Ridaura, otros directivos como Leopoldo Cruz Remes y Alberto Mercado estaban, lógicamente, más preocupados por el desarrollo de ventajas competitivas económicas e inmediatas, sin considerar el tiempo, costo y esfuerzo que significa desarrollar un producto, por lo que era necesario reforzar continuamente sus convicciones y hacerles entender las complejidades y los tiempos que requiere un proyecto de investigación tecnológica, y sobre todo, uno de mejoramiento genético de plantas. Al final de una plática bastante caldeada con el director de producción de la empresa, me preguntó por qué nos tardábamos tanto en obtener semilla con la calidad de la de las semilleras norteamericanas y europeas. Mi respuesta fue que las grandes compañías probablemente habían trabajado durante 25 años con un presupuesto de millones de dólares y nosotros, sólo cinco años con una centésima parte de ese presupuesto; lo pensó durante un minuto y finalmente dijo: *touché*.



## Estudios realizados con palmeras

*Roger Orellana Lanza*

En 1981, bajo la asesoría del Dr. Hermilo Quero, investigador del Jardín Botánico de la UNAM y especialista en palmeras de México, los miembros del Departamento de Ecología comenzamos a adquirir conocimientos sobre esta importante familia botánica. Durante los recorridos de campo realizados en toda la península de Yucatán, aprendimos sobre la importancia de éstas, a la vez que sobre su hábitat, distribución, usos y manejo en la península de Yucatán. De esta manera, y pensando en el futuro jardín botánico que estableceríamos en el terreno del CICY, iniciamos las colectas para que eventualmente tuviéramos una colección viva y herborizada de las especies nativas de la región. Los primeros ensayos de colecta y trasplante en el jardín botánico estuvieron llenos de aciertos y errores, por lo que era menester producir palmeras en el vivero, ya que especies como *Coccothrinax readii*, observábamos que morían en su trasplante en un cien por ciento. En 1985, el tesista Carlos López Segovia culminó su trabajo con *Pseudophoenix sargentii* y otras dos especies; Nancy Ayora, por su parte, realizó la tesis sobre conservación de recursos genéticos de *Coccothrinax readii* y *Thrinax radiata*, concluida en 1988. Ya habíamos aprendido más sobre aspectos biológicos de las palmeras yucataenses. Ese año inició el estudio del amarillamiento letal del cocotero, cuyos primeros reportes están en el artículo de Oropeza *et al.* (1991), ante la evidencia dramática del avance de esta plaga en la península de Yucatán. Con un paisaje tan sobrecogedor surgió la pregunta ¿qué pasaría en el paisaje peninsular si la enfermedad cundiera a las palmeras nativas y en ese caso se acabarían ante esta enfermedad? Fue un supuesto *a priori* a partir de la evidencia en Florida publicada por McCoy y colaboradores (1977 y 1983) en la que se constató que esta enfermedad atacaba por lo menos a 35 especies de palmeras. No había respuesta a tal, por lo que era menester realizar estudios a largo plazo sobre este fabuloso grupo de plantas, el que a nivel mundial solamente es superado por las

gramíneas en los trópicos desde el punto de vista cultural, económico y alimenticio. Así, me fue encomendado hacer a la distancia (me encontraba en mi doctorado) un proyecto cuyo título fue “Bases ecológicas para la gestión, manejo y uso adecuados de las palmeras de la península de Yucatán”. Este proyecto se inició aprovechando la estancia sabática en el CICY del Dr. Hermilo Quero. Dimos inicio al proyecto en abril de 1990, a partir de recorridos en toda la península de Yucatán, sobre todo en la zona con mayor abundancia de especies, que es la porción austral del estado de Quintana Roo. A partir de los primeros resultados obtenidos por medio de recorridos de campo, se verificó que al menos en ese tiempo, no existían rastros de ataque de amarillamiento letal en las especies nativas silvestres, ni tampoco en las cultivadas. Sin embargo, el amarillamiento letal siguió avanzando en el territorio peninsular y comenzó a notarse sobre otras especies exóticas susceptibles como *Pritchardia pacifica* y *Veitchia merrillii*, ambas especies muy populares como ornamentales. En ese entonces nos dedicamos a caracterizar la germinación y propagación de las 20 especies de palmeras nativas (Orellana *et al.*, 1992). Para ese entonces, surgía la necesidad de conocer verdaderamente el papel de este grupo de palmeras nativas tanto en el medio natural como por los habitantes, y sobre todo, ver su estatus de conservación. Durante esta primera fase, en el CICY, Quero escribió “Las palmas silvestres de la península de Yucatán” (Quero, 1992) en el que describe las 20 especies.

En 1991 fue contratado Rafael Durán; él había realizado su tesis de licenciatura y estaba por concluir la de doctorado, centrado en el estudio de la muy cotizada especie *Pseudophoenix sargentii* (Durán, 1986). En septiembre de 1991 se llevó a cabo el simposio “Las palmeras de los bosques tropicales” en Iquitos, Perú, en el que presentó los avances de su tesis de doctorado, sobre la dinámica poblacional de *P. sargentii* (Durán, 1992); yo presenté una clasificación de las palmeras yucatanenses con base en los grupos funcionales (Orellana, 1992). A finales de 1991 ingresó al departamento como investigadora Ingrid Olmsted, quien como ecóloga había trabajado muchas especies de la selva, entre otras, dos especies de palmeras: *Thrinax radiata* y *Coccothrinax readii*. Al año de haber ingresado, R. Durán terminó su tesis sobre la dinámica poblacional de *P. sargentii* como base para la conservación de tal especie tan cotizada (Durán, 1992). Ese mismo año salió a la luz el trabajo de Orellana y Durán “Las palmas de la península de Yucatán: un recurso que debemos conservar”. En 1993 se publi-

caron algunos trabajos iniciales para el conocimiento de *T. radiata* y *C. readii* por Orellana y Ayora (1993) y Ayora y Orellana (1993). En 1995, Olmsted y Álvarez-Buylla (1995) publicaron un importante trabajo sobre dinámica poblacional y extracción de las mismas especies, modelo que fue aplicado en posteriores investigaciones (y que se mencionarán más adelante). Rafael Durán, por su parte, sacó a la luz en *Principes* (1995) un trabajo sobre la dinámica poblacional de *P. sargentii*; ese mismo año, Julián Granados concluyó su tesis sobre el papel de las palmeras al interior de la selva como reguladores de la entrada del agua, P y K.

La siguiente fase de trabajos se realizó tomando a *Desmoncus orthacanthos*, *Bactris major*, *B. mexicana* y *Acoelorrhapha wrightii* como posibles sucedáneos del ratán, en la que se estudiaron aspectos biomecánicos y etnobotánicos (Orellana *et al.*, 1999; las tesis de Gabriel Canto, 2005 y de Joaquín Quiroz, 2007, y Quiroz *et al.*, 2008); sobre sus asociaciones con el suelo y microorganismos como hongos micorrízicos, así como bacterias libres fijadoras de nitrógeno (tesis de Lilia Carrillo, 1998; Carrillo *et al.* 1998; tesina de Tana Barrueta, 1999; Carrillo *et al.*, 2000; Carrillo *et al.*, 2002; tesis de Roberto Sibaja, 2004 y de José Ramos, 2005, y Ramos *et al.*, 2006a, 2006b, 2009); asimismo, sobre el rescate de embriones recalcitrantes y su germinación (tesis de Miguel Tzec, 2002; Reymundo Mezeta, 2001, y Tzec *et al.*, 2006), y en el aspecto de dinámica poblacional y etnobotánica, la tesis de Sigfredo Escalante (2004) y Escalante *et al.*, 2004.

Ha sido considerable la cantidad de estudios posteriores realizados con *Thrinax radiata* y *Coccothrinax readii* y *Pseudophoenix sargentii*. Destaca el trabajo de *C. readii* y *Pseudophoenix sargentii*, analizado en la tesis de Alfredo Dorantes (1997) y Dorantes *et al.* (2003), la tesis de demografía de *P. sargentii* por Merari Ferrer, y muy recientemente el plan de manejo sustentable de la misma especie por Ana Aguilar (2009). Luz María Calvo inició el estudio de manejo de *Thrinax radiata* para conocer las tasas permisibles de extracción. Derivadas de este estudio surgieron las tesis de Erika Pérez (2000), Edward Pérez (2004) y María Teresa Zapata (2004), asimismo, las publicaciones Calvo *et al.* (2004, 2008, 2009), Escamilla *et al.* (2005), Pérez *et al.* (2005) y Zapata *et al.* (2008). Los aspectos sobre nutrición, sobre todo el potasio, raíces y suelos de estas especies fueron abordados por Armando Escamilla (tesis de Quintal, 2000; Pereyda, 2000; Guillén, 2001; Sosa, 2002 y Quintal, 2003, Pérez, 2004, Quintal y Escamilla s/fecha).

Posteriormente, Silvia Iriarte apoyó parcialmente algunos estudios de *T. radiata*; fruto de esto fue la codirección de tesis de M. Teresa Zapata y la tesis de Gerardo Polanco (2005).

Los estudios más recientes que han salido a la luz son, por un lado, los estudios relacionados al efecto del cambio climático sobre las palmas de la península de Yucatán, iniciado desde 2003, y los proyectos derivados. Para esto se han estudiado diez especies: *Bactris mexicana*, *Chamaedorea oblongata*, *Chamaedorea seifrizii*, *Coccothrinax readii*, *Cryosophila stauracantha*, *Desmoncus orthacanthos*, *Gaussia maya*, *Pseudophoenix sargentii*, *Sabal mexicana* y *Thrinax radiata*. A la fecha se tiene como resultado la tesis de maestría de Gerardo Polanco (2008). Adicionalmente, ha surgido un trabajo comparativo entre los usos de las palmeras en Ecuador y Yucatán, publicado por De la Torre *et al.* (2009).

Quedan aún buenas oportunidades para seguir explorando estudios futuros con las palmeras desde muchos puntos de vista, por lo que se puede ver que entre los derroteros del CICY pueden seguir generándose nuevos estudios con tan importante grupo.

### **Listado de trabajos publicados que versan sobre palmeras en CICY:**

- Aguilar Gutiérrez, Ana. 2008. Plan de manejo sustentable para la especie *Pseudophoenix sargentii* (Palma Kuká) en la reserva de la biosfera Ría Lagartos. Tesis Licenciado en Administración de Recursos Naturales. Universidad Marista de Mérida. Mérida. 124 p.
- Ayora Granados, Nancy Noemí. 1988. Contribución a la conservación de recursos genéticos: "Estudio de dos especies de palmas en peligro de extinción en el estado de Yucatán (*Coccothrinax readii* y *Thrinax radiata*). Tesis para obtener el título de Biólogo. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. Iztacala, México. 118 p.
- Ayora, N. N., R. Orellana. 1993. Physicochemical soil factors influencing the distribution of two coastal palms in Yucatán, México. *Principes*. 37(2): 82-91.
- Barrueta Rath, Tana. 1999. Inoculación de hongos micorrizógenos en dos palmas nativas de la península de Yucatán. Memoria de Residencia Profesional (Tesina) para optar al título de licenciado en Biología. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2, Conkal, Yucatán. 43 p.
- Calvo-Irabién, L. M. and A. Soberanis. Ethnobiology, use and local harvest practices of the threatened palm *Thrinax radiata*, Lodd. ex Schult. & Schult. f., in the Yucatan Peninsula. *Palms*. 58 (2): 47-51.

- Calvo-Irabién, L. M. y G. Ceballos-González. 2004. La palma Chit: historia del desarrollo de un plan de manejo para una especie amenazada. En: Armijo, N. y C. Llorens (eds.). Uso, conservación y cambio en los bosques de Quintana Roo. Universidad de Quintana Roo, México. pp. 168-178.
- Calvo-Irabién, L. M., M. T. Zapata, S. Iriarte-Vivar. 2009. Effects Of Leaf Harvest On *Thrinax radiata* Palm: Implications For Management And Conservation. Journal of Tropical Forest Science. 21 (1): 34-44.
- Canto Polanco, José Gabriel. 2005. Morfología, Anatomía y Mecánica de tallos de *Desmoncus orthacanthos* Martius. Licenciatura en Biología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida. 91 p.
- Carrillo Sánchez, L., F. Barredo-Pool, L. Varela, M. Arce-Montoya, R. Orellana. 1998. Estudio de la asociación micorrízica en tres especies de palmeras nativas de la península de Yucatán. En: Zulueta, R., M. Escalona, D. Trejo (eds.). Avances de la investigación micorrízica en México. Ed. Universidad Veracruzana. Xalapa. pp. 77-84.
- Carrillo Sánchez, Lilia Emma. 1998. Estudio de la asociación micorrízica en tres especies de palmeras nativas de la península de Yucatán. Carrera de Biología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Xmatkuil, Yucatán. 71 p.
- Carrillo, L., L. Varela, R. Orellana. 2000. Variación estacional en la densidad de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares y en el porcentaje de colonización micorrízica de tres palmeras yucatanenses. En: Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato (eds.). Ecología, Fisiología y Biotecnología de la micorriza arbuscular. IRENAT, Colegio de Postgraduados. Mundi Prensa, Montecillo. pp. 39-45.
- Carrillo, L., R. Orellana y L. Varela. 2002. Study of the Mycorrhizal Association in Three Species of Native Palms on the Yucatan Peninsula, Mexico. Palms. 46(1): 39-46.
- De la Torre, L., L. M. Calvo-Irabién, C. Salazar, H. Balslev, F. Borchsenius. 2009. Contrasting palm species and use diversity in the Yucatan Peninsula and the Ecuadorian Amazon. Biodiversity and Conservation. En prensa.
- Dorantes Euán, A. 1997. Germinación de tres especies en peligro de extinción *Pterocereus gaumeri* Britton & Rose, *Coccothrinax readii* Quero, *Pseudophoenix sargentii* Wendl ex Sarg. Tesis Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola. ITA#2 SEP. 81 p.
- Dorantes-Euan, A., M. Méndez-González, R. Durán-García, R. K. Maiti. 2003. Methods to promote germination of endangered species of high economic potential in Yucatan, Mexico. Research On Crops. 4: 117-126.

- Durán-García, R. 1995. *Pseudophoenix sargentii*: an endangered palm species. Principes. 39: 219 -224.
- Durán-García, R., M. Franco. 1992. Estudio demográfico de *Pseudophoenix sargentii*, Bulletin Institut Francais Études Andines. 21: 609-621.
- Escalante, S., C. Montaña, R. Orellana. 2004. Demography and potential extractive use of *Desmoncus orthacanthos* Martius Arecaceae in Southern Quintana Roo, Mexico. Forest Ecology and Management. 187: 3-18.
- Escamilla-Bencomo, A., F. Quintal-Tun, F. Medina-Lara, A. Guzman-Antonio, E. Perez y L. M. Calvo-Irabien. 2005. Relaciones suelo-planta en ecosistemas naturales de la península de Yucatán: comunidades dominadas por palmas. En: Bautista F. y G. Palacio-Aponte (eds.). Manejo y caracterización de suelos de la península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. EPOMEX-UACAM-UADY.
- Ferrer Cervantes, M. E. 2004. Dinámica poblacional, abundancia y extracción potencial en la palma *Pseudophoenix sargentii* Wendl, ex Sarg. en la reserva de la Biosfera Ria Lagartos. Tesis de licenciatura, FMVZ- Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida. 110 p.
- Franco, V., R. Orellana, S. Escalante. 1999. Arecaceae and Asparagales native species of the Yucatan Peninsula (Mexico) cultivated in the Regional Botanical Garden (CICY): importance of their diffusion. Proc. of the 2<sup>nd</sup> Int. Symp. on Ornamental Palms and other Monocots from the Tropics. Acta Horticulturae. 486: 87-91.
- Guillén Maldonado, D. 2001. Determinación de nutrimentos de palmas de la duna costera de San Benito, Yucatán, *Thrinax radiata* y *Coccothrinax readii*. Tesis de Licenciatura. Químico Biólogo Bromatólogo. Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- López Segovia, Carlos René. 1985. Ensayo de propagación de tres especies de plantas silvestres amenazadas o en peligro de extinción (kuká *Pseudophoenix sargentii*, despeinada *Beaucarnea plibilis*, polmis *Mammillaria gaumeri*). Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2 SEP., Conkal, Yucatán. 81 p.
- Mezeta Cante, Reymundo Martín. 2001. Enraizamiento *in vitro* de *Bactris balanoidea* (Oersted) Wendland, palmera posible sustituta del ratán. Memoria de Residencia Profesional (Tesina) para optar al título de licenciado en Biología. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2, Conkal, Yucatán. 22 p.
- Narváez, M., I. Córdova, R. Orellana, N. A. Harrison, C. Oropeza. 2005. First Report of a Lethal Yellowing Phytoplasma in *Thrinax radiata* and *Coccothrinax readii* in the Yucatan Peninsula of Mexico. Plant Pathology. 55: 292.



- Olmsted, I. and E. Alvarez-Buylla. 1995. Sustainable Harvesting Of Tropical Trees: Demography And Matrix Models Of Two Palm Species In Mexico, *Ecological Applications*. 5: 484-500.
- Orellana, R., R. Durán-García. 1992. Las Palmas De La Península De Yucatán: Un Patrimonio Que Debemos Conservar. *Gaceta Universitaria*. pp. 22-28.
- Orellana, R. 1992. Síndromes morfológicos y funcionales de palmas de la península de Yucatán, México. *Bull. Inst. Fr. Études Andines*. 21(2): 651-667.
- Orellana, R. 1999. Respuestas de las plantas al ambiente por medio de sus estrategias morfológicas y funcionales. En: Orellana, R., J. A. Escamilla, A. Larqué-Saavedra (eds.). *Ecofisiología Vegetal y Conservación de Recursos Genéticos*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida. pp. 35-50.
- Orellana, R., M. Méndez, P. Simá. 1993. Propagación de Plantas nativas. Informe técnico entregado a la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de Yucatán. Mérida, Yucatán.
- Orellana, R., N. Ayora. 1993. Population structure of two palm species in a community of sand dune scrub in Yucatan Peninsula, México. *Principes*. 37(1): 26-34.
- Orellana, R., P. Herrera, S. Rebollar, J. Escalante, G. López, S. Escalante, L. Gus. 1999. Studies on the potential uses of some native palms of the Yucatan Peninsula (Mexico) as substitutes of Rattan. Proc. of the 2<sup>nd</sup> Int. Symp. on Ornamental Palms and other monocots from the Tropics. *Acta Horticulturae*. 486: 291-295.
- Oropeza-Salín, C., J. Santamaría-Fernández, M. Villanueva-Méndez and V. M. Loyola-Vargas. 1991. Physiology and Biochemistry of Lethal Yellowing in *Cocos nucifera*. *Principes*. 35: 208-218.
- Pereyda Pérez, C. M. 2000. Determinación nutrimental en suelos asociados a dos palmas endémicas de la península de Yucatán *Thrinax radiata* y *Coccothrinax readii*. Memoria de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2 Conkal, Yucatán, México.
- Pérez, E. 2002. Germinación y crecimiento de la palma *T. radiata* Loddiges ex, J. A. et J. H. Schult. en condiciones naturales y controladas. Licenciatura en Biología. FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Pérez, E., G. Ceballos-González y L. M. Calvo-Irabién. 2005. Germinación y supervivencia de semillas de *Thrinax radiata* (Arecaceae), una especie amenazada en la península de Yucatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 77: 1-12.
- Pérez Jiménez, E. C. 2004. Nutrientes en la fracción ligera de la materia orgánica y suelo en palmares de *Thrinax radiata* Lood ex J. A. and J. H. Schult en Quintana Roo, México. Tesis de Licenciatura. Licenciado en Biología. Universidad de Medicina Veterinaria y Zoo-

tecnica de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.

- Polanco Hernández, G. E. (2006). Distribución de hábitats y condiciones favorables de crecimiento de la palma chit (*Thrinax radiata* Loddiges ex. J.A. et. J.H. Schult.) en una población de duna costera. Tesis de Licenciatura. Licenciado en Biología. Universidad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Polanco Hernández, G. E. 2008. Cambios anatómicos y fisiológicos de cuatro especies de palmeras yucatanenses como respuesta al aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en condiciones controladas. Maestría en Ciencias y Biotecnología de Plantas. CICY, Mérida.
- Quintal Tun, F. 2003. Absorción diferencial de Potasio por las Raíces de las Palmas Nativas de Yucatán: *Thrinax radiata* y *Coccothrinax reardi*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas. CICY. Mérida, Yucatán, México.
- Quiroz Carranza, J. A. 2007. Características anatómicas, mecánicas y biomecánicas de *Desmoncus orthacanthos* Martius (Arecaceae) en dos condiciones naturales de crecimiento. Tesis doctoral. Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, Opción Ecología. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Quiroz, J., R. Orellana, G. Canto, S. Rebolgar. 2008. Stem anatomical characteristics of *Desmoncus orthacanthos* (Arecaceae) under two growth conditions in a tropical forest. *Revista de Biología Tropical/ International Journal of Tropical Biology and Conservation*. 56 (2): 937-949.
- Ramos Zapata, José Alberto. 2005. Ecofisiología de la Simbiosis Micorrízica en la palmera nativa de la península de Yucatán *Desmoncus orthacanthos* Martius. Tesis doctoral. Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, Opción Ecología, Evolución y Sistemática. CICY. 88 p.
- Ramos-Zapata, J., R. Orellana, P. Guadarrama, S. Medina-Peralta. 2009. Contribution of Mycorrhizae to early growth and Phosphorus Uptake by a Neotropical palm. *Journal of Plant Nutrition*. 32: 855-866.
- Ramos-Zapata, J., R. Orellana, E. B. Allen. 2006. Establishment of *Desmoncus orthacanthos* (Arecaceae): effect of inoculation with arbuscular mycorrhizae. *Revista de Biología Tropical (International Journal of Tropical Biology and Conservation)*. 54 (1): 65-72.
- Ramos-Zapata, J., R. Orellana, E. B. Allen. 2006. Mycorrhizal Dynamics and dependence of *Desmoncus orthacanthos* Martius (Arecaceae), a native palm of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Interciencia*. 31 (5): 364-370.
- Sibaja Hernández, Roberto. 2004. Evaluación de la relación planta-suelo en *Desmoncus orthacanthos* Martius “sustituto de ratán” (Arecaceae).

- ceae). Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas. CICY.
- Sosa Crespo, I. F. 2002. Concentración temporal de nutrimentos en dos tipos de palmas nativas de la península de Yucatán, *Thrinax radiata* y *Coccothrinax readii*. Tesis de Licenciatura. Químico Biólogo Bromatólogo. Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. Co-asesoría con el Dr. José Armando Escamilla Bencomo.
- Tzec Simá, Miguel Alonso. 2002. Micropropagación de dos especies de palmas nativas de la península de Yucatán (*Bactris major* y *Desmoncus orthacanthos*). Tesis de maestría. Posgrado de Ciencias y Biotecnología de Plantas, Opción Biotecnología. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Tzec-Simá, M. A., R. Orellana, M. L. Robert. 2006. *In vitro* rescue of isolated embryos of *Bactris major* Jacq. and *Desmoncus orthacanthos* Mart., Potentially Useful Native Palms from the Yucatan Peninsula (Mexico). *In vitro* Cellular and Developmental Biology-Plants. 42: 54-58.



## Bromelias y Orquídeas

*Ivón M. Ramírez Morillo y Germán Carnevali Fernández-Concha*

Como especialistas en los dos grupos de plantas con la mayor cantidad de especies epífitas en el mundo, como son las orquídeas y las bromelias, fuimos invitados en 1996 por la entonces Directora de la Unidad de Recursos Naturales, Dra. Ingrid Olmsted, a unírnos al grupo de investigadores de la Unidad. Ingrid tenía mucho interés en desarrollar proyectos en epífitas, interés demostrado por sus varias publicaciones en este gremio de plantas.

Al unírnos a la Unidad de Recursos Naturales y al Herbario CICY, comenzamos el desarrollo de la Línea de Sistemática y Florística, la cual además, integramos al Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas en CICY, tanto a nivel de maestría como a nivel de doctorado.

Iniciamos además, el proyecto de la Flora Ilustrada de la Península de Yucatán, una obra titánica por la cantidad de especialistas nacionales e internacionales (ca. 70) que participan, especies de plantas (ca. 2,200) que incluye, y por el oleaje en contra para el desarrollo de trabajos de este tipo en México y en general, en el mundo.

Con estos planes en nuestros horizontes, comenzamos a desarrollar diversos proyectos centrados en orquídeas y bromelias, englobando investigación, formación de recursos humanos y vinculación.



### **Las Bromelias** (Ivón M. Ramírez Morillo)

Para resumir varios años de trabajo en bromelias, presentaré una breve reseña en las diferentes áreas de investigación en las que he trabajado, mencionando los objetivos, colaboradores y productos.

*Inventarios de diversidad:* Los primeros proyectos en bromelias en el CICY los desarrolló la Dra. Ingrid Olmsted, como parte de su proyecto de epifitas de la península de Yucatán. Los proyectos iniciales que desarrollé a mi llegada a mediados del año 1996, se orientaron a conocer cuáles y cuántas especies de bromelias había en la península de Yucatán, su ubicación geográfica y sus nombres correctos.

En el año 1996, la Dra. Olmsted, la Dra. Demetria Mondragón, quien fuera mi primera estudiante de doctorado, y una servidora, obtuvimos financiamiento del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza para desarrollar el proyecto titulado “Biología y conservación de epifitas de la península de Yucatán”. Dentro de los diversos objetivos de este proyecto, estaba la elaboración y publicación de un libro profusamente ilustrado de las bromelias de la península de Yucatán. Este libro finalmente fue publicado en el año 2004 con financiamiento del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y es titulado: “Guía Ilustrada de las Bromeliaceae de la porción mexicana de la península de Yucatán”, el cual escribí con el Dr. Germán Carnevali y el M. C. Francisco Chi May. Esta obra fue dedicada a Ingrid Olmsted en reconocimiento a su trayectoria académica y por ser una persona espléndida, siempre educada y respetuosa, y por compartir con nosotros el amor hacia las bromelias.

El inventario de las Bromeliaceae de la península de Yucatán también se publicó en forma de artículo en el año 1999 en *Harvard Papers in Botany*, donde además incluimos una nueva especie para la Ciencia, *Tillandsia maypatii* I. Ramírez y Carnevali, dedicada a Filogonio May Pat, por su colaboración en los proyectos florísticos, en el Herbario CICY y por su amplio conocimiento de la flora peninsular.

Este inventario continúa y hasta la fecha sigue incrementando. Hemos descrito además de *Tillandsia maypatii*, *T. jaguactalensis* I. Ramírez, Carnevali & Chi, *T. maya* I. Ramírez & Carnevali, *T. pseudobaileyi* C. S. Gardner ssp. *yucatanensis* I. Ramírez, Carnevali & Olmsted. Más recientemente y en colaboración con el Dr. Germán Carnevali y el M. C. William Cetzal Ix, publicamos el primer

registro del género *Hohenbergia* Schult. f. para México y para Me-soamérica, conocido hasta entonces de Brasil, Colombia, Venezuela y las Antillas. Esta única especie del género que saldrá publicada en la Revista Mexicana de Biodiversidad, crece en las paradisíacas playas de la Riviera Maya, en el estado de Quintana Roo.

Otro proyecto interesante en lo que respecta a inventarios de la diversidad de Bromeliaceae a nivel de todo el país, lo emprendí en colaboración con el Dr. Adolfo Espejo y la M. C. Ana Rosa López-Ferrari de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, con Bruce K. Holst y Harry Luther del *Marie Selby Botanical Gardens* (Sarasota, USA) y con el Dr. Walter Till de la Universidad de Viena, Austria. Para el desarrollo de este proyecto, realicé dos estancias de investigación, una en el herbario SEL del *Marie Selby Gardens* en Florida y otra en el Herbario MO del *Missouri Botanical Garden*. De este proyecto resultó un listado de todas las Bromeliaceae de México, publicado en el año 2004 en la revista *Selbyana*, una revista especializada en epífitas. Bromeliaceae de ca. 3,086 especies en 58 géneros, está representada por 342 especies en 18 géneros en México, con un porcentaje de endemismo de ca. 68 por ciento, donde los géneros *Tillandsia* L. y *Hechtia* Klotszch son los mayores contribuyentes en este alto endemismo y diversidad.

A nivel de México, también hemos publicado nuevas especies para la Ciencia, particularmente del género *Tillandsia* y *Hechtia*, mis dos grupos de estudio. Hasta la fecha, he participado en la publicación de *Hechtia zamudioi* Espejo, López-Ferrari & I. Ramírez de Querétaro, *H. lepidophylla* I. Ramírez de Querétaro e Hidalgo y *H. perotensis* I. Ramírez & Martínez-Correa del Valle de Perote entre Puebla y Veracruz. En las novedades dentro del género *Tillandsia*, he publicado las siguientes especies: *T. tehuacana* I. Ramírez & Carnevali de Puebla, *T. pinicola* I. Ramírez & Carnevali de Oaxaca y *T. aesi* I. Ramírez & Carnevali de Oaxaca y Jalisco.

Los inventarios de diversidad y trabajos taxonómicos quedan también publicados en las floras, y en este sentido he colaborado en la publicación de las bromelias para la Flora de Veracruz en el año 2005, con el Dr. Espejo-Serna y la M. C. López-Ferrari, y próximamente saldrá publicado por el mismo equipo, el tratamiento de Bromeliaceae para la Flora del Bajío y Regiones Adyacentes, cuyos editores generales son el Dr. Jerzy Rzedowski Rotter y la M. C. Graciela Calderón de Rzedowski, del Instituto de Ecología del Bajío.

Más recientemente, se ha dado inicio a diversos proyectos de estudios de biodiversidad en los estados del país. En este sentido,

he participado en los inventarios de Biodiversidad del estado de Yucatán y del estado de Campeche, documentando el estado actual de conocimiento de las bromelias.

A medida que sigamos explorando regiones desconocidas desde el punto de vista florístico y que sigamos estudiando diferentes grupos de bromelias, no sólo en Yucatán o en México, sino en los rangos de distribución de los grupos de interés, estos inventarios de diversidad irán cambiando.

*Proyectos de biología de la reproducción y genética de poblaciones:* estos proyectos surgen como una pregunta natural dentro del campo de la biología evolutiva. ¿Qué procesos reproductivos están involucrados en los procesos de especiación y de evolución del grupo taxonómico? ¿Hay restricciones al flujo genético? ¿Qué papel juegan los polinizadores en el flujo genético? ¿Qué factores promueven los procesos de hibridación? ¿Cómo se relacionan los sistemas de cruzamiento y la diversidad genética de las poblaciones? Esta información combinada con información de evolución, biogeografía, entre otras, nos permite proponer hipótesis de delimitación de especies, de sus rangos de distribución y generar hipótesis sobre el origen de los grupos y la evolución de caracteres selectos. En este particular, el estudio de la biología de la reproducción en bromelias comienza su desarrollo básicamente para responder preguntas orientadas en el campo de la biología evolutiva. Realizamos estudios de sistemas de cruzamiento de varias especies nativas de *Tillandsia* y *Hechtia*, particularmente de especies nativas de la península de Yucatán.

Un proyecto interesante dentro de esta área de investigación fue generar información de los sistemas de cruzamiento en varias especies del género *Tillandsia*, con el objetivo de investigar el posible origen híbrido de varias especies. Como resultado de este trabajo, hemos publicado varios artículos, como por ejemplo: “*Portraits of Bromeliaceae from the Mexican Yucatan Peninsula-IV: Tillandsia dasyliriifolia Baker: Taxonomy and reproductive biology*”; “*Reproductive biology of six species of Tillandsia L. (Bromeliaceae) in Mexico*”; “*Reproductive biology of Hechtia schottii Baker, a dioecious Bromeliaceae*”, y más recientemente el artículo “*It takes two to tango: self incompatibility in Tillandsia streptophylla Scheidw. (Bromeliaceae)*”. Dentro de esta línea de trabajo, hay dos tesis de licenciatura de estudiantes del Instituto Tecnológico de Conkal: “*Dispersión de polen en Hechtia schottii Baker (Bromeliaceae)*” de Guadalupe Chuc Puc en el año 2002, y “*Aspectos reproductivos*



de cactáceas simpátricas en una porción de selva baja caducifolia en Yucatán, México”, elaborada por el Lic. Eduar Ciau Cardozo, en el año 2003. Todos los trabajos mencionados han reportado sistemas de cruzamiento interesantes y muchas veces novedosos en los grupos estudiados, y en varios casos estos estudios son una base biológica muy importante para realizar planes de conservación de varias especies, basándose principalmente en factores que puedan afectar su éxito reproductivo.

Finalmente, se han desarrollado varios proyectos donde las hipótesis generadas por los aspectos de biología reproductiva han sido sometidas a prueba con metodologías de la genética de poblaciones. El M. C. Ulises González finalizó en el año 2004, en el programa de Maestría Ciencias y Biotecnología de Plantas, una tesis titulada: “Biología reproductiva y variación isoenzimática en *Tillandsia elongata* var. *subimbricata* y *T. brachycaulos* (Bromeliaceae) en el Parque Nacional de Dzibilchaltún, Yucatán”, donde los escenarios biológicos incluyen elementos de la historia de vida, los sistemas de cruzamiento, el flujo genético y aspectos demográficos y filogenéticos.

*Proyectos de sistemática filogenética:* En el campo de la sistemática filogenética, donde en pocas palabras, además de saber cuántas especies contiene nuestro grupo, cómo las delimitamos (*i. e.* concepto de especie), dónde se distribuyen y cómo se explican sus patrones de distribución, investigamos las relaciones de parentesco no sólo entre los taxones del grupo de estudio, sino con otros grupos cercanos y lejanos en la familia. Para responder estas preguntas, algo que alguien denominó “estudio genealógico del grupo”, estudiamos todos los caracteres disponibles, como testigos de la historia evolutiva del grupo. La morfología (macro y micro), la anatomía, la fitoquímica, etc., fueron usados por muchos años para reconstruir esa historia evolutiva, las relaciones ancestro-descendiente, pero no fue sino hasta recientemente que se incorporaron secuencias de regiones selectas del ADN y en este sentido, en el CICY, estamos a la vanguardia en estas metodologías. Ya contamos con varios estudiantes de nuestro grupo desarrollando proyectos donde se incluyen caracteres de secuencias del ADN para reconstruir historias filogenéticas. Uno de los proyectos más interesantes es el estudio que lleva a cabo el estudiante de doctorado Juan Pablo Pinzón, con su tesis titulada: “Sistemática y filogenia del complejo *Tillandsia utriculata* (L.) L. (Bromeliaceae)”, donde incluirá además de caracteres morfológicos, información de varias regiones de cloroplasto y nucleares, inclusive someterá a

prueba mis hipótesis de delimitación de especies, ya que he trabajado ese grupo por varios años.

Mi proyecto particular sobre la sistemática y filogenia del género *Hechtia* es realmente interesante, ya que es el único género en la familia donde todas las especies (menos una poligamomoica) son dioicas, y con un 94 por ciento de endemismo en México. He colectado en casi todos los estados de la República Mexicana (30 de 32) para generar una colección de plantas del género para este proyecto. En este momento, estamos haciendo estudios morfológicos y de dimorfismo floral; estamos también secuenciado regiones del cloroplasto y núcleo y hasta donde hemos avanzado, nuestras propuestas filogenéticas son novedosas y bastante resueltas en lo que respecta a las relaciones de parentesco. Esto es novedoso porque hasta ahora no se habían encontrado regiones del ADN muy variables, a pesar de que las bromelias tienen mucha variación morfológica y ecológica (un grupo que incluye desde el heno (*T. usneoides* (L.) L.), hasta las gigantes *Puyas* de los páramos andinos). Es realmente un proyecto apasionante. No puedo dejar de mencionar a los dibujantes científicos de este grupo, cuyo trabajo ha repercutido en el mejor entendimiento del grupo: Rosana Marrufo, Carlos Jiménez y Anahí López. Francisco Chi y Gregorio Amílcar Herrera han colaborado en la parte de biología molecular y José Luis Tapia en la herborización y distribución geográfica de todas las colectas, así como Celene Espadas en la elaboración de mapas de distribución; también a Silvia Hernández y Lilia Can, por su mantenimiento y curación de la base de datos del Herbario CICY, financiada por muchos años por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y disponible a través de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (Remib) organizada por Conabio.

*Colecciones:* Estamos constantemente trabajando en la creación de una colección de germoplasma de bromelias de la península de Yucatán y de todo México, al cultivar varias especies que pueden crecer bajo las condiciones climáticas de la región. Contamos con varias especies en cultivo, tanto epifitas como terrestres y seguimos incrementando la colección. Por otro lado, hemos incorporado al Herbario más de 3,000 colectas de nuestros proyectos. Otras de las colecciones accesorias del Herbario son las colecciones en líquido de estructuras específicas que abarca aproximadamente 1,500 especies principalmente de toda la flora peninsular y particularmente, de los grupos donde tenemos espe-

cialistas en el Herbario, y no menos importante, la colección iconográfica (ilustraciones y fotografías) que hemos generado a través de los años, muchas de ellas ya incluidas en diversas publicaciones.

*Productos:* En estos 12 años de trabajo en el CICY, se han publicado 13 artículos relacionados directamente con Bromeliaceae de México, un libro, cuatro capítulos de libro, cuatro tesis y una tesina. La participación en la formación de recursos humanos de alto nivel no sólo se ha concentrado en el CICY, sino que también he participado en programas de posgrado en otras instituciones del país (UNAM, Inecol, UAM-Iztapalapa), como directora de tesis o en comités diversos. Se suman participaciones en congresos, simposia y pláticas. Más recientemente, integramos entre varios especialistas mexicanos en diversos aspectos de bromelias, la Red de Bromelias del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (Sinarefi).

### **Las orquídeas** (Germán Carnevali Fernández-Concha)

El estudio de las orquídeas en el CICY fue también iniciado por la Dra. Ingrid Olmsted, como parte de su interés general en el epifitismo como fenómeno biológico. El producto más relevante que originó este interés fue un análisis de la distribución y conservación de las epífitas de la porción mexicana de la península de Yucatán, en colaboración con el biólogo Mauro Gómez-Juárez. En ese momento se conocían 72 especies de orquídeas en la Península (revisado por Joan Andrews y Edgar Gutiérrez en 1988). Ingrid reportó ceca de 62 especies de orquídeas epífitas en el área, incluyendo varios que el artículo anterior no contenía. Ella continuó sus estudios de orquídeas epífitas colaborando con A. Dejean y R. Snelling, con una investigación del efecto de las hormigas asociadas al género *Myrmecophia* sobre los forofitos en un bosque bajo inundable en Quintana Roo. Años después, tendría yo el honor de nombrar una vistosa especie de *Myrmecophila* con el nombre de *M. christinae* (Ingrid Christine Olmsted), conmemorando su interés en este género.

En julio de 1996 me ofrecieron una plaza en el CICY y comencé a trabajar en las Orchidaceae. Mi tema de disertación doctoral era la sistemática filogenética de *Cryptocentrum*, un pequeño pero evolutivamente interesante grupo de la subtribu Maxillariinae, una agrupación de géneros que habían sido mi interés principal antes de venir a Yucatán. Al llegar retomé el trabajo con *Cryptocentrum* para publicar una monografía filogenética y sistemática. Pero el nuevo marco geográfico de mi empleo exigía que

dedicase parte de mi tiempo a aspectos de la orquideología local. Por ello, mi primer proyecto en el CICY fue un estudio de las orquídeas de la península de Yucatán. Este trabajo (aún vigente), tardó cinco años en producir un fruto substancial. En el año 2001, en asociación con algunos estudiantes y técnicos, además de investigadores del herbario AMO (Asociación Mexicana de Orquideología), publicamos un artículo con tratamientos sinópticos de 117 orquídeas que conocíamos entonces (45 especies más que las reportadas por Andrews y Gutiérrez en 1988). El número de orquídeas de la Península se ha seguido incrementando y ahora contamos casi 130. El artículo del 2001 incluyó nueve especies nuevas para la ciencia.

Unas orquídeas de mucho interés en la península son las *Myrmecophila*, ya que las flores de sus especies son bastante variables en colores y formas y las plantas son vegetativamente muy similares entre las diferentes especies. La taxonomía del género era, en ese entonces, poco menos que confusa. La forma de entender el género era establecer las correlaciones geográficas de la variación morfológica. Dediqué muchas horas de esfuerzo hasta concluir una publicación en el año 2001 donde resolvía la nomenclatura de las especies mexicanas. El artículo de orquídeas yucatecas (mencionado en el párrafo anterior), resolvía otra parte de este problema también. Un artículo en el 2003 propuso una filogenia de evidencia total (morfología y secuencias de ADN nuclear) de *Myrmecophila*. Se concluyó con un compendio publicado para la serie *Genera Orchidacearum*.

Otro género que ha sido de mucho interés para mí ha sido *Encyclia*. Este grupo, como *Myrmecophila*, perteneciente a la subtribu Laeliinae, es de importancia hortícola por sus hermosas flores de larga duración, su gran variación y su facilidad de cultivo. Mi interés en el grupo inició con mi tesis de licenciatura en Venezuela. Un resumen de esta tesis se publicó en colaboración con la Dra. Ivón Ramírez y colaboraciones posteriores contaron con la participación del Dr. Gustavo Romero (*Harvard University*). El trabajo en *Encyclia* ha resultado en dos publicaciones durante mi periodo en CICY. Recientemente, junto con un orquideólogo brasileño (Dr. Cassio van den Berg), una mexicana (Dra. Victoria Sosa) y un estudiante de posgrado, Carlos Leopardi, hemos retomado el estudio de este género. El objetivo de este proyecto es el producir una monografía sistemática y filogenética de este complicado género de unas 200 especies, distribuidas desde México hasta el SE de Brasil.

*Genera Orchidacearum* es un proyecto concebido por la comunidad de orquideólogos profesionales y dirigido desde Kew. El objetivo es producir breves tratamientos sintéticos de cada género de las Orchidaceae, circunscritos de acuerdo a las últimas clasificaciones filogenéticas (basadas en ADN y morfología). Junto con mi grupo de trabajo, colaboré con 10 tratamientos genéricos, como *Myrmecophila*, *Encyclia*, *Orleanesia*, *Caularthron* y *Brassavola* en el Volumen IV. Para el Volumen V, que incluye las Epidendroidae más derivadas, contribuimos con tratamientos de *Cryptocentrum*, *Heterotaxis*, *Nitidobulbon* y varios más, básicamente grupos de las Maxillariinae.

He seguido trabajando en mi primer interés, las Maxillariinae. Con uno de mis primeros estudiantes de posgrado, Isidro Ojeda, decidimos abordar el género *Heterotaxis* para su tesis de maestría; ésta se completó en el año 2003. Eventualmente publicaríamos un género nuevo, *Nitidobulbon*, que emergiera de los análisis filogenéticos de su trabajo. Hacia el año 2003 empezamos un proyecto multiinstitucional, en colaboración con colegas de la Universidad de Florida y de dos Universidades de Brasil. La idea era obtener suficiente material para producir un esqueleto filogenético de las Maxillariinae que nos permitiera abordar grupos monofiléticos internos, ahora con el empleo de caracteres morfológicos y anatómicos, además de las secuencias de ADN. El trabajo de obtener el material, extraer el ADN, seleccionar las regiones que se iban a secuenciar, hacer el trabajo de laboratorio y analizar los datos nos tomó cerca de cuatro años. En el año 2007 publicamos dos artículos, uno con una filogenia molecular y otro con la nomenclatura derivada de la misma. De los resultados de esta filogenia, derivamos la propuesta de varios géneros nuevos, uno de los cuales, *Bra-siliorchis*, condujo a la publicación de un artículo adicional.

Todavía dentro de las Maxillariinae, he tenido interés en grupos amazónicos, antes incluidos en el género *Bifrenaria*. De estas investigaciones, se publicaron dos géneros nuevos, *Hylaeorchis* y *Guanchezia*. Otro grupo de interés de las Maxillariinae ha sido un grupo de especies de relacionadas con *Maxillaria rufescens*. Aquí el atractivo teórico es la cantidad de especies crípticas que han sido todas tratadas como dos especies, una de flor grande y otro de flor más pequeña. Decidimos entender las especies del grupo en Mesoamérica y las Antillas resultando en dos publicaciones, incluyendo dos especies nuevas, una de México. En to-

tal, mi trabajo en las Maxillariinae ha resultado en la publicación de 13 artículos y tres capítulos de libro.

*La Guayana y Venezuela:* Mi entrenamiento y mi carrera como orquideólogo se inició en Venezuela. Entre mis planes estaba completar una nueva versión del tratamiento de las orquídeas para Flora de Venezuela (una primera había sido publicada por el Dr. Ernesto Foldats en el 1970). Una vez en Yucatán, este interés necesariamente pasó a segundo plano. Sin embargo, con tantos datos en la mano, seguí colaborando con Ivón M. Ramírez y Gustavo A. Romero para publicar la suficiente información que permitiese a una nueva generación de orquideólogos venezolanos retomar el trabajo donde había quedado. La labor aquí se puede dividir en dos focos: las orquídeas de Venezuela y las de la Región Guayana, parcialmente complementarias. Del trabajo con orquídeas de estas zonas se generaron varios productos. El más importante es un tratamiento de las Orchidaceae para el proyecto *Flora of the Venezuelan Guayana*, un proyecto dirigido por el *Missouri Botanical Garden*. El tratamiento de las orquídeas fue básicamente escrito por Ivón Ramírez, Gustavo Romero y un servidor, con pequeñas contribuciones por el Dr. Ernesto Foldats y el M. en C. Carlos Vargas. Recientemente se produjo un listado de orquídeas para el Catálogo de la Flora de Venezuela, por la Fundación Instituto Botánico de Venezuela, en cuya factura también colaboré. Otro foco de interés ha sido el Parque Nacional Guaramacal, del estado Trujillo. He trabajado en una flora de orquídeas de esta área para un proyecto florístico del *Natural History Museum, Smithsonian Institution*. El tratamiento definitivo está aún por ser publicado, pero de las investigaciones llevadas a cabo se han publicado ya un artículo y un capítulo de libro. El trabajo con las orquídeas de Venezuela y la Región Guayana ha conducido a la publicación de nueve artículos, cinco capítulos de libro y un libro.

El Dr. Franco Pupulin, del Jardín Botánico Lankester, Cartago, Costa Rica, me invitó en año 2004 a colaborar en el libro *Vanishing Beauty: Native Costa Rican Orchids* con tratamientos de géneros de los cuales soy especialista. Colaboré con Isidro Ojeda para escribir capítulos sobre *Heterotaxis* y de *Caularthron*, con Franco Pupulin uno de *Cohniella*, mientras que yo contribuí con uno sobre mi género favorito, *Cryptocentrum*. El primer volumen se publicó en el 2006.

Las Oncidiinae constituyen uno de los grupos más diversos de las orquídeas del Neotrópico, con unas 1,200 especies. Varios

grupos dentro de esta subtribu han sido de mi interés por crecer en tierras calientes y estacionalmente secas. En particular, los miembros del grupo *Trichocentrum* (los géneros *Lophiaris*, *Lophiarella*, *Cohniella* y *Trichocentrum*) están bien representados en la península de Yucatán, dos tercios de las especies del grupo son mexicanas y tradicionalmente han tenido problemas taxonómicos; son por ello de interés natural para un orquideólogo del área. En el artículo del año 2001 ya habíamos propuesto dos nuevas especies del género *Lophiaris*, pero ahora el interés abarca la totalidad del grupo. En el año 2006, Conacyt nos apoyó un proyecto para estudiar *Trichocentrum*. Ya teníamos dos estudiantes de maestría trabajando en grupos del complejo; Ricardo Balam (*Lophiaris*) y William Cetzal (*Cohniella*). Ellos completaron sus maestrías en el 2007 y entraron al doctorado. Simultáneamente, otra estudiante de maestría está trabajando *Lophiarella*. Con este proyecto se contrató a la Dra. Ivonne Sánchez del Pino como postdoctorante para apoyar el trabajo molecular. Hemos obtenido ya filogenias sólidas de los miembros del complejo y hemos sometido o estamos empezando a escribir varios artículos sobre el grupo. El trabajo en las Oncidiinae ha resultado hasta el momento en cuatro artículos y un capítulo de libro.

Hay una miscelánea de grupos de las Orchidaceae en los que tengo interés y en los que estoy colaborando con estudiantes para producir tratamientos taxonómicos y filogenéticos. Uno es *Polystachya*, un género pantropical, diverso en África, pero con un número substancial de mal entendidas especies en América tropical. Un estudiante, Lizandro Peraza, está resolviendo las especies neotropicales del género. *Brassavola*, un género de las Laeliinae (para el que la Dra. Ramírez y yo contribuimos un tratamiento para *Genera Orchidacearum*), de mucha importancia hortícola, está siendo resuelto por la M. en C. Eliana Noguera. Junto con ella, iniciamos un proyecto a largo plazo sobre las Malaxiidae (particularmente *Malaxis* y *Crossoglossa*) de Suramérica. Ya ha habido dos publicaciones de este proyecto. *Cyrtopodium*, un género muy diverso en las Guayanas y en Brasil, ha sido estudiado junto con Gustavo Romero. En este estudio, hemos resuelto la sistemática del género al norte de la Amazonia, incluyendo el estatus de la especie de Mesoamérica y la península de Yucatán, *C. macrobulbon*.

En total, el trabajo orquideológico de nuestro grupo ha resultado en 54 publicaciones (hasta septiembre 2009) entre artículos originales de investigación, capítulos de libro y libros. Tenemos varios proyectos andando y varios artículos sometidos o aceptados. Resu-

miendo, las contribuciones más importantes de 12 años de trabajo de la línea de sistemática y florística de las Orchidaceae son el entendimiento de las relaciones filogenéticas de varios grupos de orquídeas (*Myrmecophila*, el complejo *Trichocentrum* de las Oncidiinae, la resolución filogenética de las Maxillariinae, etc.) y la gestación de tratamientos florísticos de orquídeas a escala regional (Yucatán) e internacional (Mesoamérica, Venezuela, la región Guayana).

Sin embargo, durante los últimos años se inició una nueva vertiente de investigación en orquídeas en CICY, relacionada con la determinación de los requerimientos para la producción masiva de estas plantas en el hostil clima de Yucatán. La idea de un proyecto sobre orquídeas ornamentales fue impulsada desde la Unidad de Biotecnología desde enero del 2005 cuando el Dr. Andrew James trajo una pequeña colección de híbridos de *Phalaenopsis* desde el Orchidarium de Morelia; estas plantas murieron pronto. En septiembre del 2005, óvulos de una cápsula de *Guarianthe aurantiaca* y de otra de *Cattleya lueddemanniana* fueron exitosamente cultivadas *in vitro* y se establecieron en el invernadero a mediados del 2006. De la misma manera, durante los primeros meses del 2006 se establecieron cultivos *in vitro* de un *Dendrobium* híbrido. En abril del 2007 se estaban vendiendo las primeras plantas de *Dendrobium* híbridos al jardín de orquídeas de Xcaret en Quintana Roo.

Los primeros híbridos de *Dendrobium* florecieron en septiembre del 2007, aproximadamente 18 meses luego de haber sido extraídos de las botellas con medio aséptico. En junio del 2007 se sometió un proyecto institucional llamado “El Cultivo de plantas ornamentales exóticas de la península de Yucatán como alternativa para la generación de ingresos”. Uno de sus objetivos era la evaluación de la tasa de propagación *in vitro* así como el potencial de orquídeas ornamentales adecuadas al clima de Mérida y alrededores. Ya que no había un área adecuada para el cultivo de orquídeas en el CICY, se decidió diseñar un espacio de 50 m<sup>2</sup> en los viveros del CICY como orquideario; éste fue construido durante el 2008. Hoy en día este orquideario es la casa de unos 300 *Dendrobium* híbridos de unos 10 cultivares, unas 100 plantas de *Guarianthe aurantiaca*, unas 125 *Cattleya lueddemanniana*, unos 60 híbridos adultos de *Phalaenopsis* y cantidades menores de otras orquídeas, básicamente híbridos. La idea es hacer crecer este orquideario hasta tener una masa crítica que permita responder las preguntas planteadas en el proyecto original.



# Café del CICY para el campo. Una historia

*Víctor M. Loyola Vargas*

## **Introducción**

¿Cómo se involucró el CICY en la investigación de un cultivo como el cafeto? Al igual que la creación del Centro, las decisiones políticas tuvieron mucho que ver al inicio de esta línea de investigación. Durante el año 1994, el Dr. Manuel Robert, entonces director del CICY, fue invitado junto con otros directores de Centros Públicos de Investigación, a visitar Cuba con el fin de encontrar puntos de contacto común que permitieran a México ayudar a Cuba en su crisis económica. Esta acción se llevó a cabo por órdenes directas del Presidente de la República. El grupo de directivos que visitó la isla de Cuba encontró que había varias líneas de investigación muy avanzadas y algunas instituciones que se encontraban en posibilidad de que en el corto plazo se pudieran comercializar. Una de esas instituciones era el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), localizado cerca de La Habana, y las líneas de investigación eran la producción de semilla artificial de cafeto y el uso industrial de agaves.

A su regreso al Centro, el Dr. Robert nos solicitó a la Dra. Ingrid Olmsted y a mí que viajáramos al INCA con el fin de desarrollar, junto con los investigadores del Instituto, los proyectos de investigación que serían sometidos al Conacyt para su eventual financiamiento. En mayo del año 1994 viajamos a Cuba y nos encontramos con sus directivos y con la Dra. Nancy Santana Buzzy, quien estaba a cargo del proyecto de café. Como resultado de esta primera visita sometimos al Conacyt, en mayo de 1994, el primer proyecto sobre cafeto del CICY. Este proyecto, ni ninguno otro de la colaboración México-Cuba fueron apoyados financieramente. Sin embargo, el CICY honró su palabra y en noviembre del año 1994, la Dra. Santana visitó por primera vez al CICY y junto con los ahora doctores Javier Mijangos Cortés y Felipe Barahona Pérez se inició el estudio de la producción de semilla artificial de café.



**Figura 1.** a) Planta de café; b) plantación de café en el estado de Veracruz; c) flores de café; d) fruto del café, los frutos rojos son los frutos maduros; e) semillas de café.

## La planta

El café es originario de las montañas de Abisinia en África; de Etiopía pasó a Arabia y a la India. Sin embargo, los grandes propagadores del café fueron los holandeses, quienes explotaron grandes plantaciones del mismo en sus colonias de Ceilán e Indonesia (Pendergrast, 2002). El mejor lugar para su cultivo es la “franja cafetera”, una zona que se extiende a ambos lados del Ecuador, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Para muchos de los países comprendidos en esa franja, el café constituye un importante producto de exportación, y para algunas comunidades de esos países, la producción de café es la principal actividad económica.

El café en nuestro país representa uno de los cultivos con mayor tradición. Su introducción fue llevada a cabo por los españoles, pero se considera que su producción comercial se da desde hace aproximadamente dos siglos. México cuenta con una enorme tradición en el cultivo y producción de café. Con una experiencia y conocimiento de más de doscientos años, se ubica en la actualidad, no sólo como el quinto productor y exportador de café en el mundo, sino también como el líder mundial en la producción de café orgánico, abasteciendo prácticamente la cuarta parte de la demanda del mercado.

El café es un miembro de la familia *Rubiaceae* y del género *Coffea*. Este género incluye por lo menos 70 especies, pero sólo dos son

de importancia comercial: *Coffea arabica* L. (*Arabica*) y *Coffea canephora* Pierre ex Fr. (*Canephora* o Robusta). A los tres años de edad, cuando el árbol alcanza la edad adulta, está listo para producir flores. Las flores son blancas y florecen en grupos de 8 a 15 por ramo, la flor solo vive lo suficiente para que se lleve a cabo el proceso de polinización; el desarrollo dura cerca de siete meses y produce un fruto llamado cereza, el cual es la fuente de las semillas que son empleadas para la producción de la bebida (Pendergrast, 2002; Santana-Buzzy *et al.*, 2007a).

El café arabica crece a altitudes de 1,000-2,000 m y cuenta para el 75 por ciento de la producción mundial y de toda la producción del café en América Latina. Las calidades económicas del café arabica, junto con su carácter autógamo y perenne, ha conducido al desarrollo de plantaciones homogéneas en todo el mundo. Esta es la única especie tetraploide ( $2n = 4x = 44$  cromosomas) y predominantemente autógama del género *Coffea*. La especie *C. canephora* se cultiva en una extensión geográfica muy amplia, su distribución, se extiende del occidente a las regiones tropicales y subtropicales centrales del continente africano, de Guinea y de Liberia a Sudán y al bosque de Uganda, con una alta concentración de esta especie en la República Democrática del Congo (Carneiro, 1997).

La especie *C. canephora* crece a altitudes bajas, alrededor de los 850 metros sobre el nivel del mar; el 80 por ciento de la producción africana pertenece a esta especie. *Coffea canephora* produce una bebida de menor calidad pero la planta es más resistente a las enfermedades. Mientras que es deseable combinar estos rasgos genéticos con técnicas de cultivo tradicional, no ha sido posible.

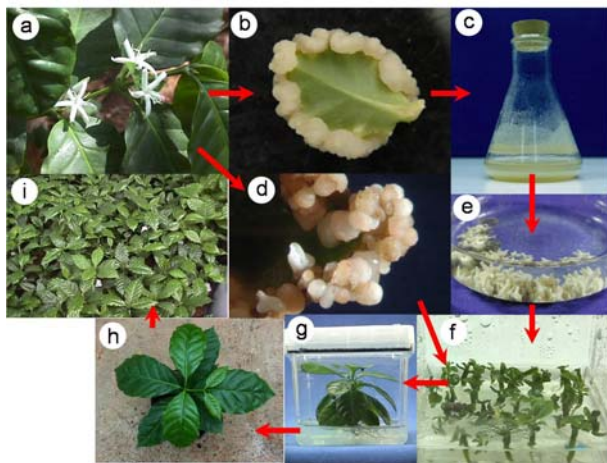
Las regiones cafetaleras en México se concentran en cuatro zonas: las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico, la zona Centro-Norte y la del Soconusco en Chiapas, en el sureste mexicano. El sistema de cultivo del cafeto se hace bajo sombra y las especies de arbusto del cafeto que se cultivan en el país son dos: la arabica y la robusta o *canephora*. Destacan por su calidad las variedades Coatepec, Pluma Hidalgo, Jaltenango, Marago y Natural de Atoyac, sólo por citar algunas.

### **Los primeros años**

Después de la primera visita de la Dra. Santana al CICY se establecieron los primeros cultivos embriogénicos de *Coffea* spp. con materiales provenientes de Chiapas. Después de varias visitas de

la Dra. Santana y del análisis de los materiales provenientes de Chiapas quedó claro que la respuesta de las variedades mexicanas a la embriogénesis somática (ES) no era la misma que la de las variedades cubanas. Este hecho, junto con la falta de financiamiento específico para el proyecto, trajo consigo la casi desaparición del proyecto de investigación. El trabajo y tesón del Dr. Mijangos evitó que los primeros cultivos de café se perdieran. Él los mantuvo vivos y siguió trabajando para tratar de establecer un sistema de ES en las variedades mexicanas en café.

Desde un principio, el CICY y el INCA firmaron un convenio de colaboración que contemplaba la formación de recursos humanos usando al café como modelo. Por tal motivo, en abril de 1996 llegaron al CICY tres investigadores del INCA, los ahora doctores Rafael Rojas Herrera, Manuel Martínez Estévez y el microbiólogo Eduardo Pérez Ortega. Para financiar su estancia en México les solicité una beca a la Universidad de las Naciones Unidas, la cual les fue otorgada. La siguiente parte de su estancia fue financiada por becas del programa especial del Conacyt con Cuba.



**Figura 2.** Secuencia de la propagación del café desarrollada en el CICY. a) Se toman los explantes de la planta original (hoja); b) obtención de callos; c) suspensiones celulares; d) embriogénesis somática directa en explantes de *C. canephora*; e) embriogénesis a partir de suspensiones celulares de *C. arabica*; f) germinación de embriones somáticos de ambas especies; g) plántulas de *C. arabica* provenientes de embriones somáticos; h) plantas de *C. arabica* provenientes de embriones somáticos en el invernadero del CICY; i) plantas enviadas a las plantaciones comerciales.

### La consolidación

Dado que el compromiso de nuestra institución con el INCA era que los investigadores que vinieran a realizar su doctorado al CICY usaran el cafeto como modelo de estudio, y dado que éste prácticamente había desaparecido, tomé la responsabilidad de desarrollar nuevamente el modelo. El Dr. Rafael Rojas fue el primer estudiante que se incorporó al proyecto bajo mi asesoría. El Dr. Martínez inicialmente trabajó con el Dr. Jorge Santamaría en la línea de investigación de estrés. Al mismo tiempo se incorporaron al proyecto los ahora doctores Carlos Fuentes de la Cerda, Francisco Quiroz Figueroa, Felipe Sánchez Teyer (Fuentes-Cerda, 2002; Martínez-Estévez, 2001; Quiroz-Figueroa, 2003; Rojas-Herrera, 2002; Sánchez-Teyer, 2003). También se incorporaron al trabajo con cafeto estudiantes para realizar sus tesis de maestría y licenciatura (Aguilar-Díaz, 2003; Avilés-Berzunza, 1999; Chan May, 2007; Chee González, 2007, 2009; Colli-Mull, 2000, 2003; Cortés, 2001; De la Peña, 2003; Escalante-Perera, 2004; Kú-Rodríguez, 2003; Romero Tepal, 2003; Ruiz-May, 2003). Más tarde siguieron incorporándose estudiantes para realizar sus tesis de doctorado, en particular con la Dra. Teresa Hernández (Ek-Ramos, 2003; Quintal-Tun, 2008; Ramírez-Benítez, 2008; Ramos-Díaz, 2006; Valadez-González, 2007).

Dado que los cultivos vegetales normalmente pierden su capacidad embriogénica con el tiempo, lo primero que hicimos fue restablecer el sistema de ES en cafeto. Para ello cambiamos el sistema de explantes de plantas de campo por un sistema de explantes provenientes de plantas cultivadas *in vitro* (Santana-Buzzy *et al.*, 2002, 2004). Este cambio nos permitió establecer un protocolo de producción de embriones somáticos mucho más eficiente que cualquier otro publicado hasta entonces. Asimismo, nos permitió evitar el problema de contaminación asociado con los explantes de campo. Pudimos producir embriones somáticos en forma directa a partir de los explantes o a partir de suspensiones celulares. Los embriones producidos son capaces de germinar y establecerse como plantas con una eficiencia del cien por ciento. Además del uso de explantes provenientes de plantas cultivadas *in vitro*, se estudiaron los efectos de la adición de poliaminas, cambio de la fuente de nitrógeno, entre otros. Este trabajo lo realizaron los estudiantes y técnicos del grupo de café. Cuando tuvimos un sistema completamente reproducible de la ES nos acercamos al Consejo Mexicano del Café (CMC) para solicitarles su

apoyo y financiamiento para el proyecto de café. Además del financiamiento, el proyecto buscaba el acceso a los campos experimentales en los cuales pudiéramos sembrar las plantas producidas por ES. Este acercamiento nos permitió firmar un convenio de colaboración con el CMC en agosto de 1998.

Con la llegada del Dr. Alfonso Larqué a la dirección del CICY en julio de 1998 se establecieron programas de investigación. Uno de ellos fue el programa de investigación sobre cafeto. Los investigadores que formamos parte de este programa inicialmente fuimos la Dra. Teresa Hernández y los Drs. Armando Cahue, Javier Mijangos, Felipe Barahona, Diógenes Infante y Víctor M. Loyola Vargas.



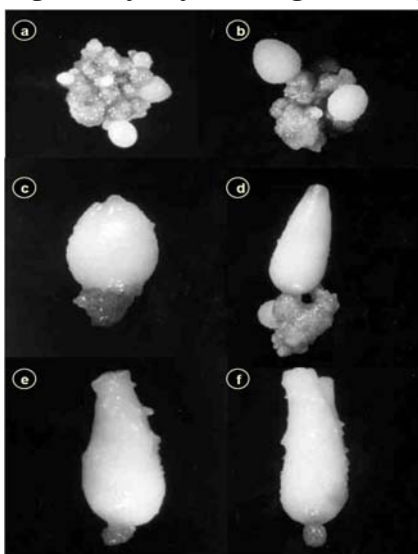
**Figura 3.** Estudiantes y técnicos terminando un largo experimento de inducción de embriogénesis somática a altas horas de la madrugada. Entre otros se encuentran presentes Rafael Rojas, Miriam Monforte, Armando Espadas, Luis Carlos Gutiérrez, Francisco Quiroz, Adriana Canto y Felipe Barahona.



**Figura 4.** Firma del convenio entre el Consejo Mexicano del Café y el CICY. De pie el gobernador del estado Víctor Cervera Pacheco, a su derecha el Dr. Alfonso Larqué Saavedra, recién nombrado director del Centro, y a su izquierda el subsecretario de agricultura.

Además del establecimiento del protocolo de ES para el café y el establecimiento en campo de más de 2,000 plantas en colaboración con el CMC (Santana-Buzzy *et al.*, 2004), se empezaron a estudiar aspectos muy básicos del proceso de morfogénesis en café que se requieren para mejorarlo. Establecimos los diferentes estadios de desarrollo de los embriones somáticos (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2002a), así como el efecto de la adición de diferentes reguladores del crecimiento, tales como ácido salicílico (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2001) los cuales aumentaban la eficiencia del proceso o el cambio en la fuente de nitrógeno (Fuentes-Cerda *et al.*, 2001).

Descubrimos que el proceso generaba una importante variación (Loyola-Vargas *et al.*, 1999; Zorinyants *et al.*, 2003). Sin embargo, más tarde durante el desarrollo de la tesis de doctorado de Felipe Sánchez determinamos que la variación era sólo de tipo fenotípico (Sánchez-Teyer *et al.*, 2003). Al mismo tiempo empezamos a estudiar los aspectos bioquímicos y moleculares del proceso de ES en el café. Usando la técnica de despliegue diferencial determinamos las diferencias en el patrón de expresión genética durante la ES (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2002c; Rojas-Herrera *et al.*, 2002). También determinamos que algunas quitinasas se expresan en forma específica durante la ES (Rojas-Herrera y Loyola-Vargas, 2002) y que los cultivos embriogénicos secretan proteínas al medio de cultivo (Quiroz-Figueroa *et al.*, 2002b; Quiroz-Figueroa y Loyola-Vargas, 2001).



Al incorporarse la Dra. Hernández al programa de café se iniciaron los estudios de toxicidad de aluminio usando como modelo experimental el cultivo de tejidos de café, así como el estudio de la participación de los mecanismos de transducción de señales en la ES del café (Echevarría-Machado *et al.*, 2005; Ek-Ramos *et al.*, 2003).

**Figura 5.** Diferentes estadios de desarrollo de los embriones somáticos de café. a) globular; b) oblongo; c) corazón; d) elongado; e) torpedo, y f) coti-

ledonar. Reproducido con permiso de Quiroz-Figueroa *et al.*, 2002.

Entre los primeros parámetros determinados fue el nivel de toxicidad que dicho elemento produce en el café, así como la obtención de una línea tolerante a dicho metal (Martínez-Estévez *et al.*, 2001b; 2003a). Una vez establecidas las líneas celulares tolerantes al aluminio, se procedió a caracterizar su efecto en las células, en particular todo lo relacionado con el mecanismo de transducción de señales involucrado (Arrollo-Serralta *et al.*, 2005; De los Santos-Briones y Hernández-Sotomayor, 2006b; Martínez-Estévez *et al.*, 2001a; 2003b; Minero-García *et al.*, 2007; Quintal-Tun *et al.*, 2007; Racagni-Di Palma *et al.*, 2002; Ramírez-Benitez *et al.*, 2008; Ramírez-Benitez y Hernández-Sotomayor, 2008; Ramos-Díaz *et al.*, 2007; Ramos-Díaz y Hernández-Sotomayor, 2007; Sánchez-Cach *et al.*, 2008; Valadez-González *et al.*, 2007).

Entre los resultados más relevantes producidos en esta línea de investigación se encuentra la determinación del aumento en la fosforilación de determinadas proteínas (Martínez-Estévez *et al.*, 2001a) así como la determinación de que se modifica el metabolismo de los fosfolípidos en presencia de aluminio (Martínez-Estévez *et al.*, 2003b). Este metal también activa proteínas similares a MAP cinasas (Arrollo-Serralta *et al.*, 2005).

### Los últimos años

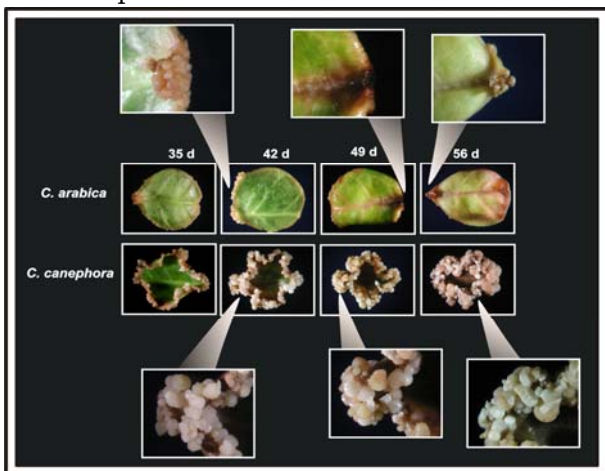
En los últimos años y en colaboración con el Dr. Enrique Castaño transformamos café (Canché-Moor *et al.*, 2006) y hemos profundizado en el conocimiento de los mecanismos moleculares que inician el proceso de la ES (Arroyo-Herrera *et al.*, 2008). También hemos mejorado el sistema de ES y expuesto claramente las diferencias que existen entre las dos especies comerciales de *Coffea* cuando son expuestas al proceso de ES (De la Peña *et al.*, 2008; Quiroz-Figueroa *et al.*, 2006). La especie *canephora* produce varios cientos de veces más embriones somáticos que la especie *arabica*. La respuesta es completamente dependiente de la presencia de benciladenina en el medio de cultivo y de las condiciones medio ambientales, especialmente la presencia o ausencia de luz.

El trabajo del grupo de café ha sido reconocido en particular a través de las invitaciones que se han recibido para escribir artículos de revisión y capítulos de libro sobre el tema de la embriogénesis somática del café (De los Santos-Briones y Hernán-



dez-Sotomayor, 2006a; Quiroz-Figueroa *et al.*, 2003; Santana-Buzzy *et al.*, 2007a; 2007b).

Hoy en día el grupo está trabajado vigorosamente en dilucidar los mecanismos de toxicidad del aluminio, así como en identificar las proteínas secretadas al medio de cultivo por los diferentes



sistemas de ES de café con los que se cuentan y en establecer cuál es la razón de las diferencias en la respuesta embriónica entre las dos especies de importancia económica del café.

**Figura 6.** Respuesta diferencial entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*. Experimento realizado por Geovanny Nic. Fotografías tomadas por Felipe Barredo.

## Referencias

- Aguilar-Díaz, S. 2003. Estudio de la fuente nitrogenada en la inducción de embriogénesis somática en *Coffea arabica*. UADY. Mérida. 71 p.
- Arrollo-Serralta, G., A. Ku-González, S. M. T. Hernández-Sotomayor y J. J. Zúñiga-Aguilar. 2005. Exposure to toxic concentrations of aluminum activates a MAPK-like protein in cell suspension cultures of *C. arabica* L. *Plant Physiol. Biochem.* 43: 27-35.
- Arroyo-Herrera, A., A. Ku-Gonzalez, R. Canche-Moo, F. R. Quiroz-Figueroa, V. M. Loyola-Vargas, L. C. Rodríguez-Zapata, C. Burgeff-D'Hondt, V. M. Suárez-Solís y E. Castaño. 2008. Expression of WUSCHEL in *Coffea canephora* causes ectopic morphogenesis and increases somatic embryogenesis. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 94: 171-180.
- Avilés-Berzunza, E. 1999. Estudios de las proteínas intra y extracelular en una línea de células en suspensión de *Coffea arabica*. UADY. Mérida. 58 p.

- Canché-Moor, R. L. R., A. Ku-González, C. Burgeff, V. M. Loyola-Vargas, L. C. Rodríguez-Zapata y E. Castaño. 2006. Genetic transformation of *Coffea canephora* by vacuum infiltration. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 84: 373-377.
- Carneiro M. F. 1997. Coffee biotechnology and its application in genetic transformation. *Euphytica.* 96: 167-172.
- Chan May, A. 2007. Efecto del aluminio sobre el crecimiento de plántulas de *Coffea arabica* L. y la vía de transducción de señales de los fosfoinosítics. UADY. Mérida. 64 p.
- Chee González, L. R. 2007. Respuesta fisiológica de células de *Coffea arabica* L. a diferentes formas químicas del aluminio. UADY. Mérida. 67 p.
- Chee González, L. R. 2009. Efecto de la adición de fósforo sobre la toxicidad por aluminio en células en suspensión de *Coffea arabica* L. CICY. Mérida. 100 p.
- Colli-Mull, J. G. 2000. Determinación del efecto del aluminio en lípidos de membrana en células en suspensión de *Coffea arabica* L. ITA No.2. Conkal. 56 p.
- Colli-Mull, J. G. 2003. Efecto del aluminio en la síntesis de DNA y el ciclo celular. CICY. Mérida. 83 p.
- Cortés, V. A. 2001. Obtención y aislamiento de protoplastos a partir de hojas *in vitro* y células en suspensión de *Coffea arabica* variedad catuai. UADY. Mérida. 71 p.
- De la Peña, C. 2003. El efecto de la luz, el pH y la benciladenina en la biosíntesis de las poliaminas en suspensiones celulares y su variación durante la embriogénesis somática de *Coffea canephora*. CICY. Mérida. 105 p.
- De la Peña, C., R. M. Galaz-Avalos y V. M. Loyola-Vargas. 2008. Possible role of light and benzylaminopurine on biosynthesis of polyamines during the somatic embryogenesis of *Coffea canephora*. *Mol. Biotechnol.* 39: 215-224.
- De los Santos-Briones, C. y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2006a. Coffee biotechnology. *Braz. J. Plant Physiol.* 18: 217-227.
- De los Santos-Briones, C. y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2006b. The biochemical basis for the resistance to aluminum and their potential as selection markers. En: Loyola-Vargas, V. M. y F. Vázquez-Flota (eds.). *Plant Cell Culture Protocols.* Humana Press. New York. pp. 305-314.
- Echevarría-Machado, I., L. Brito-Argáez, G. Racagni-Di Palma, A. L. Ramos-Díaz, V. M. Loyola-Vargas y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2005. Polyamines modify the components of phosphoinositide-calcium signal transduction pathway in *Coffea arabica* L cells. *Plant Physiol. Biochem.* 43: 874-881.

- Ek-Ramos, M. J. 2003. Estudio de la función del proceso de fosforilación durante la embriogénesis somática de *Coffea arabica* L. CICY. Mérida. 106 p.
- Ek-Ramos, M. J., G. Racagni-Di Palma y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2003. Changes in phosphatidylinositol and phosphatidylinositol monophosphate kinase activities during the induction of somatic embryogenesis in *Coffea arabica*. *Physiol. Plant.* 119: 270-277.
- Escalante-Perera, M. R. 2004. Estudio del patrón proteico durante la embriogénesis somática en explantes foliares de *Coffea canephora*. ITM. Mérida. 50 p.
- Fuentes-Cerda, C. F. J. 2002. Embriogénesis somática directa a partir de explantes foliares de plántulas cultivadas *in vitro* de *Coffea arabica* L. CICY. Mérida. 70 p.
- Fuentes-Cerda, C. F. J., M. Monforte-González, M. Méndez-Zeel, R. Rojas-Herrera y V. M. Loyola-Vargas. 2001. Modification of the embryogenic response of *Coffea arabica* by nitrogen source. *Biotechnol. Lett.* 23: 1341-1343.
- Ku-Rodríguez, S. C. 2003. Estudio de los patrones electroforéticos de las proteínas extracelulares durante la embriogénesis somática en *Coffea arabica*. ITM. Mérida.
- Loyola-Vargas, V. M., C. Fuentes, M. Monforte-González, M. Méndez-Zeel, R. Rojas y J. Mijangos-Cortés. 1999. Coffee tissue culture as a new model for the study of somaclonal variation. En: Pauling, B. (ed.). 18è Colloque Scientifique Internationale sur le Café. Association Scientifique Internationale du Café. Paris. pp. 302-307.
- Martínez-Estévez, M. 2001. Estudios sobre la toxicidad del aluminio en suspensiones celulares de café. CICY. Mérida. 86 p.
- Martínez-Estévez, M., A. Ku-González, J. A. Muñoz-Sánchez, V. M. Loyola-Vargas, D. Pérez-Brito, R. Tapia-Tussell, J. A. Escamilla-Bencomo y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2003a. Changes in some characteristics between the wild and Al-tolerant coffee (*Coffea arabica* L.) cell line. *J. Inorg. Biochem.* 97: 69-78.
- Martínez-Estévez, M., V. M. Loyola-Vargas y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2001a. Aluminum increases phosphorylation of particular proteins in cellular suspension cultures of coffee (*Coffea arabica* L.). *J. Plant Physiol.* 158: 1375-1379.
- Martínez-Estévez, M., J. A. Muñoz-Sánchez, V. M. Loyola-Vargas y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2001b. Modification of the culture medium to produce aluminum toxicity in cell suspensions of coffee (*Coffea arabica* L.). *Plant Cell Rep.* 20: 469-474.
- Martínez-Estévez, M., G. Racagni-Di Palma, J. A. Muñoz-Sánchez, L. Brito-Argáez, V. M. Loyola-Vargas y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2003b. Aluminum differentially modifies lipid metabolism from

- signal transduction pathways in *Coffea arabica* cells. J. Plant Physiol. 160: 1297-1303.
- Minero-García, Y., M. Villanueva, F. Vázquez-Flota, S. M. T. Hernández-Sotomayor e I. Islas-Flores. 2007. Isolation and characterization of a soluble phosphate hydrolysing activity from an *in vitro* coffee cell line grown in the presence of aluminum. Asian J. Biochem. 1-12.
- Pendergrast, M. 2002. El café. Historia de la semilla que cambió el mundo. Javier Vergara Editor. Barcelona. 447 p.
- Quintal-Tun, F. H. 2008. Kinetics of aluminum association to cell suspensions of *Coffea arabica* L., and its effect on the signal transduction pathway mediated by phospholipids. CICY. Mérida. 126 p.
- Quintal-Tun, F. H., J. A. Muñoz-Sánchez, A. L. Ramos-Díaz, J. A. Escamilla-Bencomo, M. Martínez-Estévez, C. Exley y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2007. Aluminum-induced phospholipid signal transduction pathway in *Coffea arabica* suspension cells and its amelioration by salicylic acid. J. Inorg. Biochem. 101: 362-369.
- Quiroz-Figueroa, F. R. 2003. Estudio de la embriogénesis somática en *Coffea arabica*. CICY. Mérida. 112 p.
- Quiroz-Figueroa, F. R., C. F. J. Fuentes-Cerda, R. Rojas-Herrera y V. M. Loyola-Vargas. 2002a. Histological studies on the developmental stages and differentiation of two different somatic embryogenesis systems of *Coffea arabica*. Plant Cell Rep. 20: 1141-1149.
- Quiroz-Figueroa, F. R., R. M. Galaz-Avalos y V. M. Loyola-Vargas. 2003. *Coffea canephora* como un sistema modelo para estudios básicos y biotecnológicos. En: Razo-Flores, E. (ed.). Memorias X Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Sociedad Mexicana de Biotecnología. México, D.F. pp. 1-4.
- Quiroz-Figueroa, F. R., S. C. Ku-Rodríguez y V. M. Loyola-Vargas. 2002b. Patrón proteico extracelular durante la embriogénesis somática en suspensiones celulares de *Coffea arabica* L. Rev. Soc. Quím. Méx. 46: 259-263.
- Quiroz-Figueroa, F. R. y V. M. Loyola-Vargas. 2001. Characterization of extracellular peroxidase released in *Coffea* suspension cell culture. En: Pauling, B. (ed.). 19<sup>th</sup> Colloque scientifique e international sur le café. Association Scientifique Internationale Du Café. Paris.
- Quiroz-Figueroa, F. R., M. Méndez-Zeel, A. Larqué-Saavedra y V. M. Loyola-Vargas. 2001. Picomolar concentrations of salicylates induce cellular growth and enhance somatic embryogenesis in *Coffea arabica* tissue culture. Plant Cell Rep. 20: 679-684.
- Quiroz-Figueroa, F. R., M. Méndez-Zeel, F. Sánchez-Teyer, R. Rojas-Herrera y V. M. Loyola-Vargas. 2002c. Differential gene expression in embryogenic and non-embryogenic clusters from cell suspension cultures of *Coffea arabica* L. J. Plant Physiol. 159: 1267-1270.

- Quiroz-Figueroa, F. R., M. Monforte-González, R. M. Galaz-Avalos y V. M. Loyola-Vargas. 2006. Direct somatic embryogenesis in *Coffea canephora*. En: Loyola-Vargas V. M. y F. A. Vázquez-Flota (eds.). Plant cell culture protocols. Humana Press. Totowa, New Jersey. pp.111-117.
- Racagni-Di Palma, G., L. Brito-Argáez y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2008. Phosphorylation of signaling phospholipids in *Coffea arabica* L. cells. Plant Physiol. Biochem. 40: 899-906.
- Ramírez-Benítez, J. E. 2008. Papel de los ácidos orgánicos en la resistencia a aluminio en suspensiones celulares de *Coffea arabica* L. CICY. Mérida. 117 p.
- Ramírez-Benítez, J. E., L. Chee González y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2008. Aluminum induces changes in organic acids metabolism in *Coffea arabica* suspension cells with differential Al-tolerance. J. Inorg. Biochem. 102: 1631-1637.
- Ramírez-Benítez, J. E. y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2008. Role of reactive oxygen species (ROS) in aluminium-induced signaling and aluminum resistance in plants. Research Trends. (En prensa).
- Ramos-Díaz, A.L. 2006. Efecto de la adición de cloruro de aluminio sobre la transducción de señales fosfolipídicas en células en suspensión de *Coffea arabica* L. CICY. Mérida. 96 p.
- Ramos-Díaz, A. L., L. Brito-Argáez, R. Munns y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2007. Aluminum inhibits phosphatidic acid formation by blocking the phospholipase C pathway. Planta. 225: 393-401.
- Ramos-Díaz, A. L. y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2007. Does aluminum generate a bonafide phospholipid signal cascade? Plant Signaling & Behavior. 12: 263-264.
- Rojas-Herrera, R. 2002. Estudios moleculares durante la embriogénesis somática en *Coffea arabica*. CICY. Mérida. 78 p.
- Rojas-Herrera, R. y V. M. Loyola-Vargas. 2002. Induction of a class III acidic chitinase in foliar explants of *Coffea arabica* L. during somatic embryogenesis and wounding. Plant Sci. 163: 705-711.
- Rojas-Herrera, R., F. R. Quiroz-Figueroa, M. Monforte-González, F. Sánchez-Teyer y V. M. Loyola-Vargas. 2002. Differential gene expression during somatic embryogenesis in *Coffea arabica* L., revealed by RT-PCR differential display. Mol. Biotechnol. 21: 43-50.
- Romero Tepal, E. M. 2003. Efecto del aluminio durante el proceso de embriogénesis somática de una suspensión celular de café (*Coffea arabica* L.). BUAP. Puebla. 76 p.
- Ruíz-May, E. 2003. Determinación del patrón de enzimas de asimilación del nitrógeno durante la embriogénesis somática de *Coffea canephora*. ITM. Mérida. 48 p.
- Sánchez-Cach, L. A., M. M. Ortiz-García, Y. Minero-García, J. A. Muñoz-Sánchez, S. M. T. Hernández-Sotomayor, V. M. Suárez-Solis y C.

- De los Santos-Briones. 2008. Isolation of cDNA encoding the catalytic site of phosphatidylinositol-specific phospholipase C from *Coffea arabica* L. *Plant Signaling & Behavior*. 3: 913-916.
- Sánchez-Teyer, F. 2003. Estudio de la variación somaclonal en plantas regeneradas de embriogénesis somática directa e indirecta de *Coffea arabica* usando AFLP's. CICY. Mérida. 74 p.
- Sánchez-Teyer, L. F., F. R. Quiroz-Figueroa, V. M. Loyola-Vargas y D. Infante-Herrera. 2003. Culture-induced variation in plants of *Coffea arabica* cv. Caturra Rojo, regenerated by direct and indirect somatic embryogenesis. *Mol. Biotechnol.* 23: 107-116.
- Santana-Buzzy, N., M. E. González, M. Valcárcel, A. Canto-Flick, M. L. Barzaga, M. M. Hernández, C. F. J. Fuentes-Cerda, F. Barahona, J. Mijangos-Cortés y V. M. Loyola-Vargas. 2004. Somatic embryogenesis: A valuable alternative to propagate selected robusta (*Coffea canephora*) clones. *In Vitro Cell. Dev. Biol. -Plant.* 40: 95-101.
- Santana-Buzzy, N., V. M. Loyola-Vargas, M. Valcárcel, M. L. Barzaga, M. M. Hernández, M. E. González, F. Barahona y J. Mijangos-Cortés. 2002. The effect of *in vitro* germination in maintaining germination levels over time in storage for two cultivars of *Coffea arabica* L. *Seed Sci. Technol.* 30: 119-129.
- Santana-Buzzy, N., R. Rojas-Herrera, R. M. Galaz-Avalos, J. R. Ku-Cauch, J. Mijangos y V. M. Loyola-Vargas. 2007a. Coffee. En: Pua, E. C. y M. R. Davey (eds.). *Transgenic Crops V.* Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. 475-495.
- Santana-Buzzy, N., R. Rojas-Herrera, R. M. Galaz-Avalos, R. Ku-Cauch, J. Mijangos-Cortés, L. C. Gutiérrez-Pacheco, A. Canto-Flick, F. R. Quiroz-Figueroa y V. M. Loyola-Vargas. 2007b. Advances in coffee tissue culture and its practical applications. *In Vitro Cell. Dev. Biol. -Plant.* 43: 507-520.
- Valadez-González, N. 2007. Identificación del gen *cdc 2a* en *Coffea arabica*: caracterización y regulación por aluminio. CICY. Mérida. 130 p.
- Valadez-González, N., J. Colli-Mull, L. Brito-Argáez, J. A. Muñoz-Sánchez, J. J. Zúñiga-Aguilar, E. Castaño y S. M. T. Hernández-Sotomayor. 2007. Differential effect of aluminum on DNA synthesis and CDKA activity in two *Coffea arabica* cell lines. *J. Plant Growth Regul.* 26: 69-77.
- Zorinyants, S. E., A. V. Nosov, M. Monforte-González, M. Méndez-Zeel y V. M. Loyola-Vargas. 2003. Variation of nuclear DNA content during somatic embryogenesis and plant regeneration of *Coffea arabica* L. using cytophotometry. *Plant Sci.* 164: 141-146.

# **Historia de la investigación de 1990 - 2009 en CICY, sobre *Musa ssp.* y *Mycosphaerella***

*Rosa Ma. Escobedo Gracia Medrano y Andrew James Kay*

En el CICY, la investigación en torno al banano y plátano inició en diciembre de 1990 con el ingreso del Dr. Cuauhtémoc Navarro-Mastache al Departamento de Biotecnología de la entonces División de Biología Vegetal, dirigida por el Dr. Víctor M. Loyola Vargas. En aquel tiempo, al igual que hoy, se vislumbró la necesidad de impulsar actividades de investigación básica y desarrollo tecnológico encaminadas al mejoramiento genético de este frutal de importancia alimentaria y económica para nuestro país, sobresañando entonces dos programas prioritarios: i) el perfeccionamiento de técnicas de micropropagación eficientes para la producción de plantas fieles a su tipo, capaces de competir en el mercado con los materiales vegetales que comúnmente utiliza el agricultor, y ii) la generación de nuevas variedades de banano y plátano que ofrecieran la posibilidad de disminuir pérdidas en anaquel por maduración precoz, y aumentar la tolerancia a adversidades bióticas destacando la problemática de la enfermedad de la Sigatoka Negra, mediante transformación genética.

En este sentido, baste recordar que entre los problemas más serios que enfrenta la industria de plátano a nivel mundial están la enfermedad de la Sigatoka Negra y el mal de Panamá, ocasionados por los hongos *Mycosphaerella fijiensis* y *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raza 4, respectivamente. En México, la primera es la de mayor peso.

Los esfuerzos dirigidos a generar metodologías de clonación vía organogénesis en *Musa* culminaron con las primeras tesis de licenciatura sobre el tema: “Optimización de la fase de proliferación en la micropropagación de *Musa* (Grupo AAA, subgrupo Cavendish) cv. Enano gigante” y el “Estudio sobre la propagación *in*

*in vitro* del banano (*Musa* AAA, cv. Enano gigantes): Evaluación de diferentes sistemas de multiplicación y su incidencia en la frecuencia de aparición de variantes somaclonales”, de los Bachilleres Alberto Mayo y Ramón Souza, respectivamente.

La colaboración entre el Dr. Navarro-Mastache de Biotecnología y el Dr. Isidro Castorena-Sánchez (q. e. p. d.) de la Unidad de Biología Vegetal, en 1992-1994, y dos estudiantes de maestría, produjo los primeros protocolos de embriogénesis somática *in vitro* en el CICY, en las especies diploides de *Musa acuminata* spp. *malaccensis* y *Musa balbisiana*, y del cultivar AAA, de Enano Gigante, simultáneo a estudios histológicos y de estabilidad citogenética detallados del proceso embriogénico de dichos materiales. Las especies diploides mencionadas, entre otras igualmente importantes, son centrales en cualquier programa de mejoramiento clásico o biotecnológico, por ser que se cuentan entre los ancestros de los bananos y plátanos actuales. En particular, la subespecie *malaccensis*, por ejemplo, es reconocida como portadora de genes de partenocarpia y de genes de resistencia a hongos fitopatógenos.

El periodo de 1994-1995 destacó por los esfuerzos para entablar una colaboración del CICY-Dr. Navarro y el Cinvestav-Dr. Miguel Gómez Lim, con la realización de los primeros ensayos de “Transformación genética sobre callo embriogénico del cultivar AAA, Enano Gigante, mediante biobalística”, lográndose la expresión transitoria del gen reportero Gus, pero no así la regeneración de plantas. Previo a la partida del CICY del Dr. Navarro, en diciembre de 1995 los trabajos de los estudiantes de Maestría, Francisco Espadas, Alberto Mayo y Rosa Ma. Escobedo, habían concluido en su parte experimental. Fue en el 2006 que éstos se graduaron, bajo el periodo en que el proyecto fue coordinado por el Dr. Manuel Robert, entonces director General del CICY. Ese mismo año, el Dr. Luis Manuel Peña comenzó su primer acercamiento a la investigación con banano y Sigatoka, desarrollando en conjunto con un estudiante de maestría, la “Evaluación de la actividad fitotóxica de *Mycosphaerella fijiensis* mediante técnicas de bioensayo”.

Fue hasta 1997 que se publicó el primer artículo sobre la investigación de *Musa* en el CICY, “Regeneración de plantas *in vitro* a partir de cultivos embriogénicos de variedades diploides y triploides de bananos 'Cavendish' (Navarro *et al.*, 1997), hecho que marcó el inicio de la serie de esfuerzos de distintos actores siguientes, reflejados en las investigaciones descritas en la reseña anexa.



A partir de finales de 1996, principios de 1997, el CICY inició otro capítulo en la investigación sobre banano-plátano y *Mycosphaerella*. Los investigadores MC Alberto Mayo, el Dr. Andrew James, recién incorporado hacia finales de 1996, y la QFB Rosa Grijalva, bajo la coordinación del Dr. Manuel Robert, sometieron dos proyectos de investigación para buscar el apoyo de instancias gubernamentales-nacional, Conacyt, e internacional, la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA). El primer proyecto apoyado fue el de Conacyt, que se relacionó con la generación de bananos mutantes resistentes a fitotoxinas de Sigatoka Negra; en este caso se generaron plantas que manifestaron evidencias de resistencia a Sigatoka bajo condiciones de invernadero, pero no así las plantas adultas bajo condiciones de campo. El segundo proyecto, respaldado económicamente por la IAEA, versó sobre la naturaleza molecular de la variación somaclonal en banano micropropagado vía organogénesis, trabajo de investigación de dos estudiantes de maestría. La importancia de dicho proyecto radica en que la variación somaclonal entre plantas micropropagadas puede llegar a ser un problema serio a nivel comercial; las causas de tal variación, como la inestabilidad genética, aún permanecen sin resolverse. Dicho proyecto utilizó las tecnologías de marcadores moleculares tipo AFLPs (Polimorfismos en longitud de fragmentos amplificados, por sus siglas en Inglés) y MSAPs (Amplificación del polimorfismo sensible a la metilación, por sus siglas en Inglés), que evalúan cambios genéticos o epigenéticos. El MM-AFLPs logró detectar varios polimorfismos de ADN que indicaron que el proceso de micropropagación de plátano puede generar mutaciones (James *et al.*, 2004; James *et al.*, 2007). Mientras que con el MM-MSAP se estudió la variación somaclonal a nivel de metilación de ADN en cultivo *in vitro*, de lo que resultó un artículo y la titulación del alumno de maestría Santy Peraza (Peraza-Echeverría *et al.*, 2001).

Al mismo tiempo, el Dr. Andrew James y el MC Alberto Mayo fueron invitados a participar en un proyecto de tres años con la Unión Europea mediante un Convenio de Cooperación Internacional para Países en Desarrollo (*International Cooperation Call for Developed Countries*, INCO-DC), cuyo objetivo fue identificar genes involucrados en los mecanismos de resistencia/defensa a la Sigatoka negra. de tres años con la Unión Europea e INCO DC, cuyo objetivo fue identificar genes involucrados en los mecanismos de resistencia/defensa a la Sigatoka negra. El papel de CICY en este proyecto fue, i) realizar una colección de *Mycosphaerella fijiensis* a

partir de los aislados de ascosporas únicas, y ii) en colaboración con la Universidad de Texas A&M, realizar la primera librería genómica BAC, en el cromosoma artificial bacteriano, como prerrequisito para el mapeo físico y para la secuenciación del genoma de banano. Ambos objetivos se cumplieron en el proyecto de tres años (1997-1999), e incluso, con este proyecto, personal de CICY, pudo trabajar por cuatro meses en la Universidad de Texas A&M (en el laboratorio del Dr. Hongbin Zhang), y tres meses en la Universidad de Frankfurt (en el laboratorio del Prof. Günter Kahl).

Bajo el acuerdo bilateral 2001-2003, Conacyt -Alemania, el CICY invitó formalmente al Dr. Dieter Kaemmer, de la Universidad de Frankfurt, Alemania, a trabajar por un periodo de dos años, bajo contrato. En este tiempo se logró el apoyo económico para dos importantes proyectos relacionados con banano y Sigatoka. Ello favoreció el equipamiento de un gran laboratorio dedicado a la biotecnología molecular en la Unidad de Biotecnología (UBT) del CICY, hecho que trascendió en la reincorporación de personal de apoyo; la Dra. Blondy Canto se integró al equipo de trabajo del Dr. Krammer. Además, se atrajo gran número de estudiantes, lo que se reflejó en la graduación de tres doctores y cinco maestros, y al menos siete publicaciones. Varios miembros de dicho personal y de los estudiantes formados en los programas de apoyo del CICY se han reubicado, como la Dra. Cecilia Hernández y la MC Leticia Peraza, o se han reincorporado a la planta productiva de la UBT, por ejemplo, el Dr. Luis Carlos Rodríguez, la Dra. Blondy Canto y el Dr. Santy Peraza, y desde allí, hoy por hoy, en conjunto con la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas (UBBMP), se sustenta investigación encaminada hacia el mejoramiento biotecnológico del dúo banano-plátano y *Mycosphaerella*, como se puede apreciar en la reseña anexa.

Por su parte, el Dr. Luis Manuel Peña ha extendido su investigación en Banano y *Mycosphaerella* al área de la química de metabolitos, lo que le ha permitido graduar estudiantes de licenciatura (3), maestría (1) y doctorado (en proceso), y allegarse recursos económicos para el desarrollo de su tema de investigación referente al Banano-*Mycosphaerella*, los metabolitos fitotóxicos del hongo hacia la planta y viceversa, las fitoalexinas; con ello, ha logrado el financiamiento de tres proyectos y la publicación de dos artículos en revistas de impacto.

Las actividades de investigación sobre banano y plátano favorecieron que en 1998 se firmara el primer convenio de colabora-

ción CIR-Sureste-INIFAP-CICY con el proyecto “Evaluación de la resistencia de 12 cultivares introducidos de *Musa* a la Sigatoka Negra” en el que participaron el Dr. Andrew James (CICY), responsable del proyecto, el MC. Espridión Reyes (INFAP), el MC Alberto Mayo Mosqueda y la QFB Rosa Grijalva Arango (CICY), como colaboradores; el proyecto terminó en diciembre 2002. Después de ello, el tamaño del área experimental se incrementó en marzo de 2001, con la introducción de cerca de 400 ejemplares del cv. AAA, Enano Gigante, EG, para realizar la “Evaluación de plántulas mutantes de banano cv. EG seleccionadas *in vitro*”. No obstante, para 2003, una vez eliminados los materiales evaluados, se introdujeron alrededor de 20 accesiones entre especies silvestres y nuevos cultivares, con el fin de formar la colección de germoplasma, pues se vislumbró como necesidad primaria para sustentar a mediano y largo plazos la investigación encaminada al mejoramiento genético del plátano mexicano. Esta colección, a partir de 2006, ha sido reorganizada y está siendo caracterizada molecularmente (1 tesis de doctorado y licenciatura). Ahora comprende alrededor de 81 accesiones, la mayoría de las cuales han sido donadas a través del Centro Internacional de Tránsito de *Musa* (ITC), con sede en la Universidad Católica de Leuven, Bélgica; por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia, y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (IRFA/FAO), además, incluye ocho clones comerciales en un área experimental para el desarrollo del programa de embriogénesis somática *in vitro* de *Musa*, el cual tiene dos proyectos asociados bajo la coordinación de la Dra. Rosa Ma. Escobedo de la UBBMP, en colaboración con el Dr. Andrew James de la UBT. Se espera que esta colección de germoplasma se vuelva una colección nacional, esté disponible para investigación básica y aplicada, y apoye servicios de extensión en México.

Uno de los ejemplos más claros que el grupo de plátano del CICY ha consolidado con el sector social fue hacia el año 2008. En noviembre del año 2007 y como consecuencia de la inundación del estado de Tabasco, con lo cual una gran cantidad de las plantaciones de plátano del estado se perdieron, el CICY planteó un megaproyecto a la Fundación Produce de que se podría restablecer dichas plantaciones con material clonado utilizando la capacidad instalada y el capital humano capacitado de nuestra institución. El grupo de plátano del CICY inició el trabajo correspondiente y con recursos propios se produjo en un programa piloto 5,000 plantas clonadas, gracias a la excelente dedicación y trabajo de la

IQB. Rosa Grijalva, técnica del grupo del Dr. Andrew James de la UBT, y el grupo de apoyo del área de invernaderos, bajo el cargo del Ing. Fernando Contreras. Dichas plantas, con el apoyo de la Fundación Produce Yucatán para su transporte, se entregaron al Gobierno de Tabasco el 14 de julio del 2008, a productores ante la presencia del Dr. Carlos Miguel García Bojalil, Subsecretario de Agricultura del citado estado, en una ceremonia en la que quedó demostrada la capacidad de la ciencia para responder en los momentos críticos. Hubo el reconocimiento más amplio del sector social a la iniciativa del grupo del plátano del CICY por su capacidad de respuesta, reconocimiento que ha permitido mantener un liderazgo académico en la región.

### **Reseña de la investigación y actividades en torno al banano y plátano, *Musa ssp.*, y *Mycosphaerella fijiensis*, en el CICY**

**Dic-1990 / Ene-1994.** Desarrollo de la micropropagación en banano vía organogénesis y embriogénesis somática, estudios de estabilidad genética y fisiológicos sobre la aclimatación de plantas micopropagadas. *Dr. L. Cuauhtémoc Navarro*, Dr. Isidro Castorena (q. e. p. d.), Alberto Mayo, Ramón Souza, Francisco Espadas y Rosa María Escobedo.

**Ene-1992 / Dic-1992.** Embriogénesis *in vivo* e *in vitro* de dos variedades diploides de *Musa* sp., condiciones nucleares y citológicas. *Dr. Isidro Castorena*, Dr. L. Cuauhtémoc Navarro, Rosa María Escobedo y Patricia Montañés.

**Oct-1994 / Dic-1995.** Primeros ensayos sobre: "Transformación genética de suspensiones embriogénicas de *Musa acuminata* cv. "Gran Enano" subgrupo Cavendish, mediante biobalística para la regulación de la biosíntesis de etileno", en colaboración CICY-Cinvestav-Irapuato. Dres. *L. Cuauhtémoc Navarro*, Miguel Gómez-Lim, Luis Herrera Estrella y MC. José Luis Cabrera.

**Dic-1995 / 1996.** Regeneración *in vitro* de plantas obtenidas vía embriogénesis somática en *Musa*. *Dr. Manuel L. Robert .D*, MC. Rodolfo López, Ing. A. Francisco Espadas, Ing. A. Alberto Mayo, Biól. Rosa Ma. Escobedo (hasta septiembre 1996, entró al programa de doctorado).

**1997.** Introducción y evaluación de nuevos cultivares de Plátano; en colaboración con agricultores de Teapa Tabasco. *Dr. Manuel L. Robert*, MC. Alberto Mayo. Se incorporó el Dr. Andy James a finales de 1996.

**1997- 2000.** *Sigatoka* defense genes of banana cultivars and wild species in Latin America. Coordinador: Dr. Günter Kahl, codirector: *Dr. An-*

*drew James, MC. Alberto Mayo, Q.F.B. Rosa Grijalva, en colaboración con la Universidad de Frankfurt.*

- 1998-2000.** Regeneración de *Musa acuminata* cv. Gran Enano resistente a la Sigatoka Negra utilizando mutagénesis inducida y fitotoxinas para técnicas de selección *in vitro*. Dr. Andy James, Dr. Luis Manuel Peña, MC. Alberto Mayo, QFB. Rosa Grijalva.
- 1997-2000.** Detección de Polimorfismo Sensible a la Metilación (MSAPs) para manifestar cambios en la metilación del ADN en plátanos micropropagados, incluyendo una evaluación por medio de AFLP. Dr. Andrew James, MC. Alberto Mayo, QFB. Rosa Grijalva, Santy Peraza, Virginia Herrera.
- 2001-2004.** Construcción y caracterización de dos bibliotecas genómicas BIBAC pertenecientes a dos bananos diploides (Tuu Gia y Niyarma Yik) y desarrollo de un protocolo de transformación para banano utilizando infiltración al vacío mediado por *Agrobacterium*. Dr. A. James-Kay, Dr. Dieter Kaemmer (se separó del CICY en diciembre 2002, al terminar su estancia), QFB. Rosa Grijalva, Dra. Blondy Canto, MC. Elizabeth Ortiz, Leticia Peraza Echeverría.
- 1998-2006.** Inicio del establecimiento de una colección de germoplasma de *Musa* en colaboración con el INIFAP, Uxmal, Yucatán. Dr. Andy James, MC. Alberto Mayo M (hasta 1999), QFB. Rosa Grijalva.
- 2001-2003.** Identificación de metabolitos fitotóxicos hidrofílicos producidos por *Alternaria tagetica* y optimización de las condiciones de cultivo de *Mycosphaerella fijiensis*. Dr. Luis Manuel Peña.
- 2002-2005.** Caracterización molecular, fisiológica y bioquímica del desorden fisiológico conocido como acanelamiento y desarrollo de un protocolo de transformación para eventualmente obtener plantas transgénicas tolerantes a descensos de temperatura de *Musa acuminata* cv. Enano Gigante (AAA) económicamente importante para el Sureste de México. Dr. Luis Carlos Rodríguez.
- 2002-2007.** Construcción del primer mapa genético, la biblioteca BAC y la clonación de los genes del *mating type* de *Mycosphaerella fijiensis*. Dr. Dieter Kaemmer, Dr. Andy James, Dra. Blondy Canto, Laura Conde, Gilberto Manzo, en colaboración con el Plant Research International & CIRAD.
- 2003-2006.** Aislamiento e identificación de genes que se expresan durante la infección temprana de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morlet) en banano (*Musa acuminata*, AAA) cv. Enano Gigante. Dra. Cecilia Rodríguez G., MC. Leticia Peraza.
- 2005-2008.** Aislamiento y caracterización de genes involucrados en la patogénesis de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka Negra en plátano. Dr. Ignacio Islas F., Dra. Cecilia Rodríguez, Dra. Blondy Canto, Dr. Andrew James, Dr. Santy Peraza, Miguel Tzec Simá, Leticia Peraza, Ligia Brito, Rosa Grijalva.

- 2006.** Análisis transcripcional de los genes *lys2* y *lyp1* de *Mycosphaerella fijiensis* durante la infección del plátano. Blondy Canto Canché, Miguel Tzec Simá, Cecilia Rodríguez, Leticia Peraza, Ignacio Islas, Andrew James, Rosa Grijalva.
- 2007.** Clonación y caracterización molecular de un gene homólogo a NPR1 de banana. Dr. Santy Peraza.
- 2005-2009.** Identificación y uso de fitoalexinas presentes en hojas de banano (*Musa acuminata*) para el control del agente causal de la Sigatoka Negra. Dr. Luis Manuel Peña.
- 2006-2008.** Use of functional genomics to identify low temperature responsive/tolerant-genes in *Musa balbisiana* (BB), a tolerant plant to abiotic stress-First part. Dr. Luis Carlos Rodriguez.
- 2007.** Anotación del genoma de *Mycosphaerella graminicola*, desarrollado por el Departamento de Energía (USA). Dr. Andrew James, Dra. B. Canto, Dra. Laura Conde.
- 2007-2008.** Identificación de metabolitos fitotóxicos hidrofílicos producidos por *Mycosphaerella fijiensis* y optimización de las condiciones de cultivo de *Phytophthora capsici*. Dr. Luis Manuel Peña.
- 2007-2008.** Identificación de genes que se expresan diferencialmente en respuesta a bajas temperaturas y sequía en un genotipo (BB) de plátano silvestre tolerante a descenso de temperaturas y sequía. Dr. Luis Carlos Rodríguez.
- 2006-2010.** Caracterización de la pared celular y el exoproteoma de *Mycosphaerella fijiensis*, amplia área de oportunidades en la búsqueda de blancos moleculares para su control. Dra. Blondy Canto Canché, Dr. José Ruiz Herrera, Dra. Alice Churchil, Miguel Tzec Simá, Dra. Cecilia Rodríguez, MC. Leticia Peraza, Dr. Ignacio Islas, QFB. Ligia Brito, Dr. Andrew James, QFB. Rosa Grijalva
- 2007-2010.** Aplicación de la embriogénesis somática en variedades de plátano de interés agronómico como herramienta para su mejoramiento genético. Dra. Rosa María Escobedo, Dr. Andrew James, Dra. Renata Rivera, Dra. Nina Valadez, MC. Alberto Mayo, MC. J. Roberto Ku, QFB. Rosa Grijalva, MC. Muhammad A. Youssef, Br. Jorge Itzá, Br. Martha J. Burgos T.
- 2006-2009.** Extensión y reordenamiento del banco de germoplasma de banano y plátano del CICY en el CIR-INIFAP-Uxmal (80 accesiones), y Establecimiento de plantación experimental con cultivares comerciales de banano como progenitores para la obtención de explantes para la embriogénesis somática. Dr. Andrew James, Dra. Rosa María Escobedo, MC. Roberto Ku Cauch, Br. Jorge Itzá, y MC. Muhammad A. Youssef.
- 2006-2010.** Aplicación de la tecnología de ARN de interferencia para la identificación de algún gen involucrado en la resistencia a la en-

fermedad de la Sigatoka Negra de plátano. *Dr. Andrew James, Dr. Santy Peraza.*

**2007-2010.** Estudio de la embriogénesis en *Musa acuminata* Colla: Un enfoque de genómica funcional. *Dra. Rosa María Escobedo, Dr. Felipe Sánchez T., Dra. Nina Valadez, MC. J. Roberto Ku, MC. Adriana Quiroz, MC. J. Inés Maldonado, IBQ. Jorge Itzá, Br. Martha J. Burgos.*

**2007-2010.** Identificación de genes expresados diferencialmente en respuesta a temperaturas extremas en savia de plántulas de plátano. *Dr. Luis Carlos Rodríguez Zapata.*

**2006-2010.** Caracterización de la pared celular y el exoproteoma de *Mycosphaerella fijiensis*, amplia área de oportunidades en la búsqueda de blancos moleculares para su control. *Dra. Blondy Canto Canché, Dr. José Ruiz Herrera, Dra. Alice Churchil, Miguel Tzec Simá, Dra. Cecilia Rodríguez, MC. Leticia Peraza, Dr. Ignacio Islas, QFB. Ligia Brito, Dr. Andrew James, QFB. Rosa Grijalva.*

**2010.** Secuenciación del genoma de Plátano, disponible para los miembros del Consorcio.

**2010-2010.** Programa integral para el manejo del cultivo de plátano, impulsando las buenas prácticas de campo e inocuidad basados en la investigación y aplicación de herramientas biotecnológicas. *Dra. Blondy Canto Canché, Dr. Inocencio Higuera, Dra. Rosa María Escobedo, Dr. Andrew James K.*





## Achiote (*Bixa orellana* L.)

Gregorio Godoy Hernández y Renata Rivera Madrid

### El achiote y sus usos como colorante

El nombre común *achiote* se deriva del náhuatl *achiotl*. El nombre científico *Bixa orellana* L. proviene del taino *bixa*, que los indígenas pronunciaban *bisha*, y *orellana*, en honor a Francisco de Orellana, quien exploró el Río Amazonas en 1541 y la dio a conocer a los españoles (Pittier, 1978), por lo que se le considera originaria de la cuenca Amazónica. Las semillas de la planta de achiote se caracterizan por el color rojo-naranja debido a la presencia del apocarotenoide denominado bixina, el cual se emplea primordialmente para colorear productos alimenticios como lácteos, bebidas, mayonesas y pastelería, entre otros. La bixina es un colorante natural que no presenta ningún efecto tóxico en el humano y se emplea en sustitución del amarillo 5. Además, ha sido aprobado como colorante sin restricciones de productos alimenticios por el Departamento de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés).

Debido a la utilización de la bixina como colorante de productos alimenticios, la demanda de semillas de achiote en el mercado mundial va en aumento, ya que se prefiere su uso con respecto a otros colorantes sintéticos, por lo que en la actualidad, el cultivo de achiote es una fuente importante de recursos económicos en países de Latinoamérica donde se ha cultivado tradicionalmente, y en África tropical e India, donde fue introducido (León, 1987). Además, siendo la bixina del grupo de compuestos carotenoides, los cuales poseen actividades antioxidantes (atrapadores o desactivadores de radicales libres), y cada día se acumulan más evidencias de que están involucrados en la prevención de diferentes tipos de cánceres, enfermedades del corazón y en la degeneración macular relacionada con la edad (Khachik *et al.*, 1998; Lee y Schmidt-Dannert, 2002), estas propiedades le proporcionan un valor adicional a su ingesta en humanos.

## **El cultivo del achiote en México**

La famosa comida yucateca es elaborada en gran parte con el “recado rojo”, donde el componente principal es la semilla molida del achiote adicionada con otras especias, empleado principalmente para sazonar carnes y darle color a alimentos. A pesar de que el empleo de los productos de achiote son muy comunes en la comida tradicional del sureste de nuestro país, el cultivo de esta planta ha sido poco explotado en México, y paradójicamente, en ocasiones existe la necesidad de importar semillas de Belice, Guatemala e inclusive, de Perú, por compañías del estado de Yucatán. En el año 2000, estas compañías requirieron entre 500 a 600 ton/año para la elaboración de estos productos y algunos otros derivados de la pasta de achiote (Godoy-Hernández, 2000). En la actualidad, dichos productos no son sólo para cubrir el mercado regional y nacional, sino que también ya son demandados por el mercado internacional.

En 1996 se realizaron los primeros intentos de establecer plantaciones comerciales de achiote en los estados de Yucatán y Quintana Roo por parte de la Universidad Autónoma de Chapingo en colaboración con el Fondo Nacional para Empresas en Solidaridad (FONAES), sin embargo, no se obtuvieron los resultados esperados en el aspecto comercial y en consecuencia, en la actualidad, las plantaciones existentes de la especie no permiten satisfacer la demanda de la pequeña industria nacional. El achiote es una planta que crece muy bien en el país, principalmente en el sureste de México. La idea es que México pudiera pasar de un país importador de semilla de achiote a un país exportador, sobre todo de bixina, que es el pigmento de mayor valor agregado y que es únicamente producido por dicha especie y que su demanda se incrementa por países como Estados Unidos, Japón y los de la Unión Europea.

## **Estudios iniciales**

Con la finalidad de iniciar estudios sobre multiplicación de la planta de achiote a partir de explantes y conocer más sobre los mecanismos de síntesis de bixina, en 1991 se iniciaron en el CICY los primeros intentos de estudios sistemáticos de esta especie, con el establecimiento de cultivos *in vitro* de callos de achiote a partir de explantes de hoja, tallos y raíces de plántulas germinadas *in vitro* (Minero-García, 1993), así como de cultivos en suspensión y de raíces normales (Galaz-Ávalos, 1993). Al evaluar las concentra-

ciones de carotenoides totales y bixina de tejidos *in vitro* y compararlos con los explantes iniciales, se observó que el contenido de carotenoides totales y bixina disminuye en los cultivos *in vitro*. Sin embargo, consideramos que estos tejidos eran modelos útiles para el estudio bioquímico o molecular de los pigmentos de esta planta. Posteriormente, otra estrategia en la misma línea de investigación fue micropropagar individuos que presentaran altos contenidos de bixina y nos enfocamos a establecer protocolos de regeneración *in vitro* de esta especie. Actualmente disponemos de cuatro protocolos de regeneración de achiote (Canul Canché, 2004; Zaldívar-Cruz, 2004), por lo que es posible aplicarlos para micropropagar aquellos morfotipos o variantes que presenten un mayor contenido de bixina y con los cuales se podrían establecer plantaciones altamente productoras de dicho pigmento.

Durante los últimos años, dada la poca información que hay sobre la biología del achiote, hemos venido trabajando en generar las bases genético moleculares (Narváez *et al.*, 2001, Narváez *et al.*, 2002; Rivera-Madrid *et al.*, 2006) que permitan profundizar en el conocimiento de los genes implicados en la ruta de biosíntesis de carotenoides y de bixina. Las evidencias bioquímicas y moleculares indican que se origina a partir de licopeno (Zaldívar Cruz y Godoy Hernández, 2003). Actualmente contamos con varias metodologías, tanto genéticas como moleculares y de cultivo *in vitro*, que permitirán generar plantas que produzcan mayor calidad y cantidad de pigmentos (Rivera-Madrid *et al.*, 2006; Valdez-Ojeda *et al.*, 2008; Rodríguez-Ávila sometido).

### **Mejoramiento genético**

En virtud de que existe una gran variación en la producción de carotenoides y de bixina en las distintas variantes del achiote (Fig. 1), fue obligada una caracterización morfológica y genética de los morfotipos o variantes de la región agrícola de Yucatán (Valdez-Ojeda *et al.*, 2008). Lo anterior, como base para iniciar un programa de mejora genética para incrementar la producción de carotenoides en esta planta o hacer que ella produzca nuevos pigmentos. La variación morfológica hace que la producción de bixina sea variable y no correlacione con las características agronómicas útiles, como que sus semillas produzcan mucha bixina y con el inconveniente de que el fruto abra (dehiscente), o la inversa, que sus semillas produzcan poca bixina y el fruto no abra (in-

dehiscente), esto último evita que las semillas sean expuestas a la luz, calor y oxígeno (factores que provocan la degradación del pigmento). De aquí la pertinencia de un programa de mejoramiento genético que pudiera ofrecer morfotipos de achiote con cualidades económicamente importantes, como frutos con cápsulas indehiscentes y altos contenidos de bixina para la conservación de las cualidades de sus pigmentos y así cubrir la demanda mundial del pigmento.



**Figura 1.** Plantas de achiote (*Bixa orellana* L.) y la variación morfológica presente en algunos morfotipos (Valdez-Ojeda, 2009).

Desde el 2001, nuestro grupo de investigación ha estado trabajando en la generación de una metodología de polinización artificial con plantas de achiote, elemento básico para iniciar una mejora genética (Rivera-Madrid *et al.*, 2006). Cada año (cuando se presenta su periodo de floración) se han venido optimizando los procedimientos y condiciones de polinización, de manera que esto

ha permitido aumentar el porcentaje de obtención de frutos maduros y número de semillas viables por fruto de achiote, permitiendo así obtener las condiciones óptimas para la polinización de variantes de achiote con características agronómicas de interés comercial, como alto contenido de bixina, apertura y cierre de frutos, número de semillas, entre otros. Además, estamos trabajando el primer mapa genético de ligamiento para poder relacionar las características morfológicas con las genéticas, lograr un mejor manejo de la especie y entender cómo se están heredando sus caracteres de interés agronómico (Valdez-Ojeda, en preparación).

### **Perspectivas**

El reto a lograr en este cultivo es acortar el tiempo de mejora genética, considerando que el achiote es una planta leñosa y perenne, y que la primera producción de semillas puede darse entre el segundo y tercer año de vida. Para esto, estamos trabajando hacia el implemento de metodologías novedosas, como la generación de dobles haploides, un banco de germoplasma con características de interés para pigmentos, así como un banco de mutantes para la selección de genes candidatos para pigmentos (Rodríguez-Avila *et al.*, sometido), y la obtención de marcadores moleculares para la detección temprana del tipo de pigmento o apertura y cierre de fruto. Todo esto permitirá la obtención de mejores resultados en menos tiempo. También se han venido trabajando técnicas de ingeniería genética con el mismo fin (Guerrero Rodríguez, 2001; Ballina Gómez, 2002; Zaldivar Cruz *et al.*, 2003).

De esta forma se puede promover el cultivo del achiote en la región con plantas mejoradas que produzcan más y/o mejores colorantes naturales, favoreciendo así el reemplazo de los colorantes sintéticos y de otros productos relacionados con las industrias cosmética y farmacéutica, elaborados para el consumo por adultos y principalmente por niños, los cuales son más susceptibles al efecto nocivo de las propiedades cancerígenas atribuidas a los colorantes artificiales, entre otras enfermedades.

### **Referencias**

- Ballina Gómez, H. S. 2002. Transformación genética de achiote (*Bixa orellana* L.) vía *Agrobacterium tumefaciens* con el pCAMBIA2301. Tesis de Licenciado en Biología. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2 José Alberto Navarrete Ruiz.

- Canul Canché, J. 2004. Efectos del thidiazuron en la regeneración *in vitro* de plantas de *Bixa orellana* L. (achiote). Tesis de Licenciatura (QFB). Facultad de Química, UADY.
- Galaz Avalos, R. M. 1993. Establecimiento de cultivos de raíces normales y células en suspensión a partir de hojas de *Bixa orellana* L. Tesis de Licenciatura (QFB). Facultad de Química, UADY.
- Godoy Hernández, G. 2000. El achiote una especie subexplotada. Ciencia y Desarrollo Vol. XXVI. No. 152. pp. 34-39.
- Guerrero Rodríguez, C. 2001. Transformación genética vía *Agrobacterium tumefaciens* de *Bixa orellana* L. con el PBI.121. Tesis de Licenciado en Biología. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2 José Alberto Navarrete Ruiz.
- Khachik, F, F. B. Askin and K. Lai. 1998. Distribution, bioavailability, and metabolism of carotenoids in humans. En: Bidlack, W. R. S. T. Omaye, M. S. Meskin and D. Jahner (eds.). Phytochemicals —a New Paradigm—. Technomic Publishing Company Inc. Chapter 5. pp. 77-96.
- Lee, P.C. and C. Schmidt-Dannert. 2002. Metabolic engineering towards biotechnological production of carotenoids in microorganisms. Appl. Microbiol Biotechnol. 60: 1-11.
- León. J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. 2ª ed. San José, Costa Rica IICA. 445 p.
- Minero García, Y. 1993. Establecimiento de Cultivos *in vitro* de *Bixa orellana* L. Tesis de Licenciatura (QFB). Facultad de Química, UADY.
- Narváez, J. A., P. Flores, V. Herrera-Valencia, F. Castillo, R. Ku-Cahuich, B. Canto-Canché, N. Santana Buzzy and R. Rivera-Madrid. 2001a. Development of molecular techniques for the study of the metabolism of carotenoids in the high pigment producer plant *Bixa orellana* L. HortScience. 36, 982-986.9.
- Narváez, J. A., B. Canto-Canché, P. Flores, R. Rivera-Madrid. 2001b. Differential expression of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase (HMGR) during flower and fruit development of *Bixa orellana*. J Plant Physiol. 158:1471-1477.
- Pittier, H. 1978. Plantas Usuales de Costa Rica. 2ª ed. Ed. Costa Rica. San José, Costa Rica. 330 p.
- Rivera-Madrid, R., R. M. Escobedo-G.M., E. Balam-Galera, M. Vera-Ku and H. Harries. 2006. Preliminary Studies Toward Genetic Improvement of Annatto (*Bixa orellana* L.) Scientia Horticulturae. 109, pp. 165-172.
- Rodríguez-Ávila, N. L., J. A. Narváez-Zapata, M. L. Aguilar-Espinosa and R. Rivera-Madrid. 2008. Enrichment of full-length gene by using an optimized RNA isolation protocol in *Bixa orellana* recalcitrant tissues. Molecular Biotechnology. En prensa.

- Rodríguez-Ávila, N. L., J. A. Narváez-Zapata, M. L. Aguilar-Espinosa and R. Rivera-Madrid. 2009. Molecular evidence of genetic improvement for bixin accumulation in different cultivars of *Bixa orellana* L. Plant Breeding. Sometido.
- Valdez-Ojeda, R., J. L. Hernández-Stefanoni, M. Aguilar-Espinosa, R. Rivera-Madrid, R. Ortiz and C. F. Quiros. 2008. Assessing morphological and genetic variation in annatto (*Bixa orellana* L.) by Sequence-related Amplified Polymorphism and cluster analysis. HortScience. 43: 2013-2017.
- Zaldívar Cruz, J. M. 2004. Transformación genética de achiote (*Bixa orellana* L.) con el gen reportero gusA vía *Agrobacterium tumefaciens*. Tesis de Doctorado en Ciencias y Biotecnología de Plantas. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Zaldívar-Cruz, J. M., H. S. Ballina-Gómez, C. Guerrero-Rodríguez, E. Aviles-Berzunza and G. C. Godoy-Hernández. 2003. *Agrobacterium*-mediated transient transformation of annatto (*Bixa orellana* L.) hypocotyls with the GUS reporter gene. Plant Cell Tissue Organ Culture. 73: 281-284.
- Zaldívar Cruz, J. M. y G. Godoy Hernández. 2003. El licopeno es el sustrato para la biosíntesis de bixina. Revista de Educación Bioquímica. 22(3): 146-154.





## **Programa de investigación y transferencia de tecnología en papaya**

*Jorge M. Santamaría Fernández*

La historia de la investigación en papaya en el CICY data de 1998, cuando en una visita del gobernador del Estado de Yucatán en turno, solicitó al CICY realizar investigación en este importante cultivo para Yucatán. En el año de 1999 se tomó la primera acción al presentar la propuesta del impacto de la Biotecnología en el cultivo de papaya dentro de una reunión técnica de productores organizada por SAGARPA (Santamaría *et al.*, 1999).

Cabe mencionar que el papayo *Carica papaya* L., es miembro de la familia Caricaceae y actualmente, como especie comercial, se encuentra distribuida en casi todas las regiones tropicales del mundo. En México, el cultivo de papaya es muy importante a nivel nacional, regional y para el Estado de Yucatán. México es el principal exportador de papaya a los EUA. En el 2005, México tuvo una superficie sembrada de 21 mil hectáreas con un valor de la producción de \$1,111 millones (SIAP, 2009); se cosecharon 709,447 toneladas (11% de la producción mundial), lo que lo ubicó en el tercer lugar mundial, por debajo de Brasil (1,700,000 toneladas) y Nigeria (755,000 toneladas) (FAO, 2007). En la región sureste se concentra el 80 por ciento de la producción de papaya del país, siendo el principal productor el estado de Veracruz, seguido por Chiapas y Yucatán. En el estado de Yucatán, la papaya es el frutal con mayor valor de la producción y es una buena fuente de empleo continuo y seguro durante los 18 meses que dura su cosecha. El valor de la producción de Papaya Maradol fue de \$131 millones de pesos en 2006, superando al de otros frutales como la naranja valencia (\$115 millones), y aun al de otros cultivos anuales como el pepino (128 millones) y el chile habanero (\$28 millones) (Anuario 2006, Gobierno del Estado de Yucatán y SAGARPA).

El reto era obtener plantaciones en donde el cien por ciento de sus árboles produjera frutos con un mercado aceptable (plantas 100% hermafroditas), dado que la semilla comercial de papaya variedad Maradol sólo presenta el 75 por ciento de sus semillas que produce plantas hermafroditas. La forma comercial de lograr plantaciones cien por ciento hermafroditas con plantas derivadas de semilla comercial, implica sembrar tres veces más plantas que lo que se requiere para asegurar éxito. Esto es, que el productor tenga que sembrar tres semillas por poceta para después de tres meses de riego, limpieza de malezas, fertilización de las tres plantas, el material sea sexado y se eliminen dos de cada tres plantas, dejando sólo la hermafrodita. El extremo puede ser que ninguna de las tres plantas colocadas en la poceta sea hermafrodita y la planta femenina se deja en la poceta impidiendo lograr el objetivo. En el laboratorio de Fisiología Vegetal del CICY nos interesamos en este problema y nos propusimos desarrollar un protocolo eficiente para clonar plantas hermafroditas de papaya Maradol usando la metodología del cultivo *in vitro* de tejidos. De lograrse, todas las plantas producidas deberían mantener esta característica. Con base en un primer protocolo obtenido por el técnico Julián Coello, se logró obtener un protocolo eficiente por organogénesis (Fig. 1 [Talavera *et al.*, 2009]) y se están desarrollando protocolos basados en embriogénesis somática para aumentar la capacidad de propagación masiva de papaya en biorreactores (Yam, 2009; Cornejo, 2009).



**Figura 1.** Desarrollo de un protocolo eficiente de micropropagación de papaya Maradol.

Las plantas producidas *in vitro* en nuestros laboratorios fueron probadas en campo directamente en manos del productor. Con el apoyo del Profesor Raúl Monforte del Grupo Agropecuario Sucilá, se han llevado a cabo pruebas en campo de nuestro material. En el año 2002, se probaron un total de dos y media hectáreas en forma comercial comparándose el comportamiento en campo de más de 3000 plantas micropropagadas con las de otro tanto derivadas de semilla. La evaluación incluyó parámetros fisiológicos y de rendimiento. Los resultados mostraron que nuestras plantas produjeron flores cien por ciento hermafroditas, que dieron cien por ciento de frutos alargados (deseables) (Fig. 2), con rendimientos comparables a los de plantas derivadas de semilla. En una segunda parcela demostrativa establecida en el año 2004, se realizó un experimento equivalente, esta vez validado dentro de un proyecto de Fundación Produce. Los resultados del comportamiento en campo de dichas plantas fue similar al encontrado anteriormente (Talavera *et al.*, 2007).

El mayor impacto que tienen nuestras plantas micropropagadas se ve reflejado en el costo de producción. Aunque nuestras plantas tengan un costo de producción más elevado (\$4.50 por planta), la característica que no se tengan que trasplantar 6,000 plantas por hectárea, sino solamente 2,000, permite un importante ahorro en material de siembra. Considerando un costo de plántulas derivadas de semilla convencional a \$2.50 la planta, se tienen que invertir un total de \$15,000.00 por hectárea, mientras que con nuestras plantas serían 2,000 por hectárea, debido a que está garantizado que el cien por ciento de dichas plantas serán hermafroditas, lográndose con nuestro sistema, un costo de material de plantación de solo \$9,000.00 por Ha. Adicionalmente al ahorro de \$6,000.00 por hectárea en material de plantación, el productor no requiere pagar jornales de “sexado y raleo”, ni en la clasificación de frutos en el empaque, evitando también mermas en la plantación derivadas de frutos de plantas femeninas, lo cual es un ahorro adicional de los costos de producción. Por lo anterior, consideramos que el uso de plantas micropropagadas es una alternativa real y factible para mejorar rendimientos y volumen de producción mientras se disminuyen los costos de producción.

Una vez desarrollado un protocolo eficiente y validado en campo, se dio difusión al logro apareciendo notas en el periódico *La Jornada*, en la revista *Entrepreneur* (2007) y recientemente en la revista *Ciencia y Desarrollo* del Conacyt (2009).



**Figura 2.** Validación en campo de plantas micropropagadas establecidas en plantaciones comerciales de Sucilá, Yucatán. Todas las plantas micropropagadas presentaron 100% de flores hermafroditas y 100% de frutos alargados mientras que las provenientes de semilla presentaron 25% de flores femeninas y de frutos redondos (no deseables).

Esto ha atraído solicitudes de productores para producirles plantas micropropagadas cien por ciento hermafroditas, incluyendo Total Produce, La Flor de Nayarit, José Arjona de Rancho Alegre, entre otros.

También se generó interés en un proceso de transferencia de tecnología a un laboratorio comercial local llamado “Avances Biotecnológicos Yucatecos”. Se avanzó en la capacitación de su personal pero la transferencia continua en proceso.

En otro aspecto de nuestro programa de investigación, en colaboración con el Dr. Luis Herrera Estrella (LANGEBIO) y la Dra. Aileen O'Connor, se regeneraron plantas de papaya provenientes de callos embriogénicos con la inclusión de un gen de citrato sintasa de una bacteria. Los resultados mostraron que las plantas transformadas con este gen presentaron un mejor comportamiento fotosintético y un mayor contenido de fósforo en sus hojas, lo que sugiere que la exudación de citrato a la rizosfera pueda favorecer la toma de fósforo que se dificulta en suelos calcáreos con pH alcalinos (Alatorre, 2005; Alatorre *et al.*, 2007). De igual forma, en 2008 se encontró que se puede aumentar la toma de fósforo en plantas de papaya Maradol mediante la inoculación con micorrizas, *Glomus intraradices* (Nava, 2008; Nava *et al.*, 2009).

Se han realizado estudios paralelos para aumentar los rendimientos de papaya Maradol utilizando silicatos y salicilatos para evaluar su posible efecto en el rendimiento de papaya Maradol. Este proyecto se realizó con el apoyo del Fondo Mixto del Estado

de Yucatán. Los resultados mostraron que la aplicación de salicilatos puede tener un efecto positivo en los rendimientos en campo, aunque tendría que validarse a mayor escala (Espadas *et al.*, 2007; Uc, 2009). Otro importante aspecto de nuestro programa de investigación fue la determinación de parámetros de calidad en frutos de papaya y las repercusiones que el uso de fungicidas para el control de antracnosis pudieran tener en ellos (Santamaría *et al.*, 2007 a; b; Santamaría *et al.*, 2008; Santamaría, 2008).

La variedad Maradol es la más cultivada en el país, por su buena calidad y aceptación en el mercado tanto local como de exportación; no obstante, es una de las más susceptible a enfermedades como la mancha anular PRSV-P (Mosqueda-Vázquez *et al.*, 1999) y antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum* sp. (Acosta-Ramos, 1997), de tal forma, que se requieren programas de mejoramiento genético encaminados a obtener nuevas variedades que mantengan las excelentes características de sabor, color, aroma y valor nutricional de Maradol, pero presenten mayor resistencia a factores bióticos y abióticos.

Por tal motivo, hemos ampliado el alcance del programa con el establecimiento de un banco de germoplasma (tanto *in situ* como *in vitro*) como plataforma para iniciar un ambicioso programa de mejoramiento genético para producir nuevas variedades más tolerantes a factores abióticos como altas temperaturas, mayor eficiencia de uso de agua, así como con mayor resistencia a enfermedades como la virosis de la mancha anular (PRSV) y la antracnosis. Dicho banco será caracterizado molecularmente en colaboración con los Dres. Felipe Sánchez Teyer (CICY) y Abelardo Navarrete (INIFAP). En una primera etapa, dicho banco se inició con una colecta de material en un sitio poco perturbado del sur del Estado de Yucatán. Se realizaron estudios preliminares para caracterizar la tolerancia del material de poblaciones silvestres de *C. papaya* a factores abióticos como la sequía. Los materiales silvestres resultaron más resistentes a sequía que las plantas de papaya Maradol comercial (Fig. 3). En una estancia en la Universidad de Laval (Canadá), se analizó por RT-PCR cuantitativo la expresión de genes involucrados con la tolerancia a sequía como los genes DREB, encontrándose diferencias en la expresión entre las plantas silvestres y las plantas comerciales de Maradol expuestas a sequía (Fuentes, 2007).



**Figura 3.** Comportamiento de plántulas de papaya Maradol comercial vs. *C. papaya* silvestre colectada en Yucatán, ante un déficit hídrico de siete días.

Dado que el posible origen de papaya es la región de Mesoamérica (Storey, 1976) y ha convivido con los patógenos presentes en la región durante muchos años, es altamente probable que los materiales silvestres de la península de Yucatán presenten algún tipo de resistencia a estas importantes enfermedades, de tal forma que el objetivo de nuestro programa de mejoramiento es desarrollar y caracterizar un banco de germoplasma de material elite seleccionado de papaya silvestre, con características superiores de calidad y resistencia a desórdenes fisiológicos y fitopatológicos.

Actualmente, estamos desarrollando un proyecto donde se pretende ofrecer una alternativa biotecnológica al control de antracnosis mediante el estudio de la sobreexpresión controlada del gen NPR1 (Dres. Santy Peraza y Virginia Herrera), financiado por el Conacyt (Peraza *et al.*, 2008).

Otro aspecto que estamos trabajando es el hecho de que la papaya tiene, además, gran interés internacional porque puede proyectarse como un importante recurso nutracéutico por su alto contenido de antioxidantes y pro-vitamínico, por lo que estamos en colaboración con el Instituto de Nutrición y Alimentos Funcionales (INAF) de la Universidad de Laval, Canadá.

Un factor detonante de nuestro programa es el hecho de que se acaba de secuenciar el genoma completo de papaya (Ming *et al.*, 2008), lo que convierte a la papaya en la única especie tropical cuyo genoma completo está disponible (“*Arabidopsis tropical*”), y facilita nuestros estudios en Genómica Funcional e Ingeniería Genética de este importante cultivo. Lo anterior, aunado al hecho

de que tenemos una biodiversidad importante en las poblaciones silvestres de papaya de Yucatán, hace que este programa de investigación sea muy atractivo a nivel nacional e internacional.

### **Agradecimientos**

Agradezco a Julián Coello por el valioso y atinado trabajo en las primeras etapas del desarrollo del protocolo inicial de micro-propagación. Al MC. Carlos Talavera, al MC. Francisco Espadas y al Ing. Fernando Contreras, por su invaluable y comprometida participación durante todas las etapas de este programa. A la Dra. Gabriela Fuentes por su contribución en la caracterización fisiológica y molecular del material silvestre durante su estancia posdoctoral.

### **Referencias**

- Alatorre Cobos, Fulgencio. 2005. Evaluación morfo-fisiológica de líneas transgénicas de papaya que sobreproducen Citrato como alternativa para suelos pobres en Fósforo. Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, CICY. Tesis de Maestría.
- Alatorre-Cobos. F, C. Talavera M., F. Espadas, J. M. Santamaría F., A. O'Connor S. 2007. *Ex vitro* growth of transformed papaya plants containing a bacterial citrate synthase gene. *Acta Hort.* 748:133-138.
- Centro de Investigación Científica de Yucatán. 2009. Papaya Maradol: transferencia de tecnología. *Ciencia y Desarrollo*. Febrero 2009, 35(228), 68.
- Cornejo, Martha. 2009. Inducción de embriogénesis somática en tejidos foliares obtenidos de plántulas de papaya. Universidad de Guadalajara. Tesis de Licenciatura.
- Entrepreneur. 2007. Papayas hermafroditas. *Entrepreneur*. Octubre 2007, Vol. 15, No. 10, 18.
- Espadas, F., C. Talavera, F. Contreras y J. M. Santamaría. 2007. Papel de salicilatos y silicatos en papaya Maradol. Fondos Mixtos Yucatán, Yuc2004-c03-039. Reporte técnico final.
- Fuentes, G. 2007. Expresión de genes en plantas de papaya Maradol y silvestre, bajo estrés hídrico. Reporte de estancia posdoctoral Conacyt 146.
- Ming, Ray, Shaobin Hou, Yun Feng, Qingyi Yu, Alexandre Dionne-Laporte, Jimmy H. Saw, Pavel Senin, Wei Wang, Benjamin V. Ly, Kanako L. T. Lewis, Steven L. Salzberg, Lu Feng, Meghan R. Jones, Rachel L. Skelton, Jan E. Murray, Cuixia Chen, Wubin Qian, Junguo Shen, Peng Du, Moriah Eustice, Eric Tong, Haibao Tang, Eric

- Lyons, Robert E. Paull, Todd P. Michael, Kerr Wall, Danny W. Rice, Henrik Albert, Ming-Li Wang, Yun J. Zhu, Michael Schatz, Niranjana Nagarajan, Ricelle A. Acob, Peizhu Guan, Andrea Blas, Ching Man Wai, Christine M. Ackerman, Yan Ren, Chao Liu, Jianmei-Wang, Jianping Wang, Jong-Kuk Na, Eugene V. Shakirov, Brian Haas, Jyothi Thimmapuram, David Nelson, Xiyin Wang, John E. Bowers, Andrea R. Gschwend, Arthur L. Delcher, Ratnesh Singh, Jon Y. Suzuki, Savarni Tripathi, Kabi Neupane, Hairong Wei, Beth Irikura, Maya Paidi, Ning Jiang, Wenli Zhang, Gernot Presting, Aaron Windsor, Rafael Navajas-Pérez, Manuel J. Torres, F. Alex Fel-tus, Brad Porter, Yingjun Li, A. Max Burroughs, Ming-Cheng Luo, Lei Liu, David A. Christopher, Stephen M. Mount, Paul H. Moore, Tak Sugimura, Jiming Jiang, Mary A. Schuler, Vikki Friedman, Thomas Mitchell-Olds, Dorothy E. Shippen, Claude W. dePamphilis, Jeffrey D. Palmer, Michael Freeling, Andrew H. Paterson, Dennis Gonsalves, Lei Wang, Maqsudul Alam. 2008. The draft genome of the transgenic tropical fruit tree papaya (*Carica papaya* Linnaeus). *Nature* 452, 991-996.
- Nava Gutiérrez, Yolanda. 2008. Efecto de la asociación de hongos micorrízicos arbusculares en la capacidad de sobrevivencia y crecimiento de plántulas micropropagadas de papaya. Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, CICY. Tesis de Doctorado.
- Nava G., Y., F. C. Ronald, Jorge M. Santamaría. 2009. *Glomus intraradices* attenuates the negative effect of low Pi supply on photosynthesis and growth of papaya Maradol plants *Scientia Horticulturae* (sometido).
- Oeidrús. 2009. [www.oedrús-portal.gob.mx](http://www.oedrús-portal.gob.mx)
- Peraza, S, V. Herrera, J. M. Santamaría. 2008. Sobreexpresión controlada del gen NPR1 en papaya utilizando un promotor inducible por etanol: Una estrategia biotecnológica para el control de la antracnosis. Proyecto Conacyt, Ciencia Básica.
- Poox Cool, Eric Delmar. 2007. El efecto de la aplicación de Silicio en plantas de papaya Maradol en etapa de vivero. ITSSY. Tesis de Licenciatura.
- Santamaría B., F. 2008. Repercusiones del control poscosecha de antracnosis sobre los principales componentes de la calidad del fruto de papaya Maradol. Inducción de la resistencia sistémica adquirida en papaya Maradol como estrategia para la reducción del daño de antracnosis en poscosecha. Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas, CICY. Tesis de Doctorado.
- Santamaría B., F. R. Díaz P., J. M. Santamaría. 2007a. Efectos del control químico de antracnosis sobre los principales componentes apariencia y sabor de fruto de papaya Maradol. 2ª Reunión Nacio-



- nal de Innovación Agrícola y Forestal, 19-21 Septiembre. Guadalajara, Jal. p. 129.
- Santamaría B., F., E. Sauri D., F. Espadas, R. Díaz P., A. Larqué Saavedra, J. M. Santamaría. 2007b. Índices de madurez y cosecha de papaya Maradol. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones. Cartagena, España. pp. 1093-1102.
- Santamaria-Basulto F, Sauri-Duch E, Espadas y Gil F, Diaz-Plaza R, Larqué-Saavedra A, Santamaria JM. 2009 Fruit quality changes during postharvest ripening of Maradol papaya. *Interciencia* Vol. 34(8)583-588
- Santamaría, J. M., B. Maust, F. Espadas, J. Coello. 1999. Impacto de la Biotecnología en el cultivo de papaya. Seminario de papaya Maradol. SAGARPA. pp. 70-79.
- SIAP. [http://reportes.siap.gob.mx/Agricola\\_siap](http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap) (febrero 2009).
- Talavera, C., F. Espadas, F. Contreras, F. Fuentes, J. M. Santamaría. 2009. Acclimatization, rooting and field establishment of micropropagated papaya plants. *Acta Hort.* 812:373-378.
- Talavera, C., F. Espadas, F. Contreras, J. M. Santamaría. 2007a. Field performance of 100% hermaphrodite micropropagated papaya plants. *Acta Hort.* 748:219-222.
- Talavera, C., F. Espadas, F. Contreras y J. M. Santamaría. 2007b. Validación en campo y transferencia de tecnología de plantas micropropagadas de papaya Maradol 100% hermafroditas. Fundación Yucatán Produce, FPY-6105. Reporte técnico final.
- Uc Can, Reyna Guadalupe. 2009. El papel del silicio en el comportamiento en plantación de papaya Maradol. ITSC. Tesis de Licenciatura.
- Yam Uicab, Fany del Rosario. 2009. Inducción de embriogénesis somática en papaya Maradol utilizando diferentes explantes. ITSC. Tesis de Licenciatura.



# Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

Nancy Santana Buzzy

## Introducción

El género *Capsicum* pertenece a las Solanáceas e incluye alrededor de 27 especies, aunque sólo cinco de ellas han sido domesticadas y cultivadas: *C. annuum* Linné, *C. baccatum* Linné, *C. chinense* Jacquin, *C. frutescens* Linné and *C. pubescens*. Su centro de origen se localiza en las regiones tropicales y subtropicales de América, probablemente en el área comprendida entre Bolivia y Perú, donde se han encontrado semillas de formas ancestrales, que datan de más de siete mil años, y desde donde, se especula, se diseminó al resto del continente americano (Pickersgill, 1988).

Debido a la gran diversidad de tipos de chiles encontrados, México es considerado el país con mayor diversidad genética del género *Capsicum*. El Chile es conocido desde la época prehispánica por los términos náhuatl: *cococ*, *cocopatic* y *cocopalatic*, y desde entonces fueron categorizados por su grado de pungencia, como picantes, muy picantes y picantísimos. Existe, además, una gran diversidad de colores, formas y tamaños de los frutos (Pozo *et al.*, 1991).

Yucatán es reconocido como centro de reserva genética de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), especie altamente apreciada por su aroma, sabor y particularmente, por su elevada pungencia. El Chile es el condimento más consumido a nivel mundial. Es consumido fresco, en salsa, en curtidos, seco y molido en pasta, y es materia prima para diferentes industrias, especialmente de la industria alimenticia, farmacológica, de cosméticos y militar. Sin embargo, durante muchos años, el chile habanero no recibió ni la atención científica-tecnológica ni el apoyo económico requerido, a pesar de su importancia. Así, gran parte de la diversidad genética autóctona de la región, se ha perdido de manera irreversible, debido principalmente a la ausencia de una estrategia de conservación y mejoramiento genético, y a la falta de una tecnología para la producción de semilla.

En 2002, comenzamos a trabajar en Chile habanero con el objetivo de establecer las bases científico-metodológicas para el mejoramiento genético de esta especie. Para ello, nos planteamos: a) coleccionar la diversidad genética existente en la región y establecer un banco de germoplasma debidamente caracterizado (morfológica, agronómica y molecularmente); b) desarrollar herramientas moleculares para la identificación y protección de genotipos de interés (huella genética); c) contar con protocolos de regeneración de plantas *in vitro* para aplicar los métodos biotecnológicos al mejoramiento genético de Chile habanero; d) determinar los contenidos de capsaicina por HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Resolución, por sus siglas en Inglés), y e) obtener variedades mejoradas que conservaran los atributos de las *variedades criollas* de Chile habanero, pero que fueran más productivas, más tolerantes y mejores adaptadas a las condiciones de la región. Estas metas han estado enmarcadas en un proyecto que viene desarrollando mi grupo desde hace alrededor de siete años: “Mejoramiento genético de Chile habanero (*C. chinense* Jacq.): Colecta, caracterización y conservación de los recursos genéticos de la especie. Estudios de pungencia. Morfogénesis *in vitro*”. Este proyecto, en 2004 me dio el aval para ser invitada a formar parte de la Red Nacional de Hortalizas, del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI), con un proyecto multianual (aún vigente). Ese mismo año (2004), Chile habanero se convirtió en un *Programa Estratégico de Caracterización bioquímica y molecular del Chile habanero*, al que se han ido incorporando paulatinamente la mayoría de los investigadores de la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas (UBBMP).

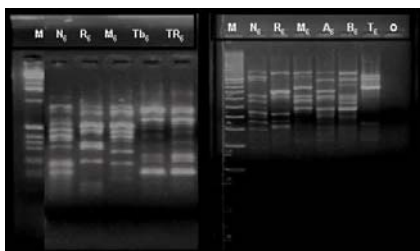
### **Estudio y aprovechamiento de los recursos genéticos de Chile habanero**

En sus inicios, nuestra propuesta fue elaborar un proyecto de colaboración con el INIFAP (Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria) y el ITA (Instituto Tecnológico Agropecuario) de Conkal, sin embargo, después de varias sesiones de trabajo y varios meses de espera, desafortunadamente la colaboración no fructificó. Así es que comenzamos por coleccionar Chile habanero. Recorrimos parte de la Península, y con el apoyo de Fondos Mixtos Yucatán logramos coleccionar las primeras 25 accesiones. Posteriormente, a través de diferentes Fondos que nos han apoyado (Fundación Produce Yucatán, SINAREFI, Conacyt), la colección se fue ampliando y actualmente contamos con alrededor de 300 accesiones, agrupadas en cinco

tipos por el color del fruto (naranja, rojo, amarillo, blanco y morado) (Fig. 1), de las cuales hasta ahora sólo hemos logrado caracterizar alrededor del 40% de las accesiones colectadas. Como es conocido, el



**Figura 1.** Frutos de diferentes accesiones del germoplasma de chile habanero conservado en el CICY.



**Figura 2.** Perfiles de ADN de los tipos de chile habanero que muestran la diversidad de la especie en la región: *H. naranja*, *H. rojo*, *H. amarillo*, *H. blanco* y *H. morado*.

manejo de los recursos fitogenéticos requiere muchos recursos (económico y humano) y ha resultado muy difícil conseguir apoyo para este tipo de proyecto. Sin embargo, aún así, nuestra colección es una de las más completas de chile habanero, a nivel internacional. La caracterización morfológica y agronómica ha sido cuidadosamente planeada y realizada, y está sustentada en 29 descriptores aceptados internacionalmente para *Capsicum* (IPGRI). La selección de estos descriptores se realizó tomando en cuenta algunos de los caracteres más heredables (altura de la planta, color de la flor, color de fruto, etc.) y aquellos que están más relacionados con el rendimiento (peso del fruto, número de frutos por planta, tamaño de fruto, etc.). Por ser un carácter distintivo de la especie, la pungencia o picor fue determinada por HPLC, mientras que la diversidad genética fue evaluada a partir del ADN (Ácido desoxirribonucleico) utilizando marcadores moleculares de tipo microsatélites y RAPDs (ADN polimórfico amplificado al azar, por sus siglas en Inglés), lo que nos permite contar actualmente con la *huella genética* (Fig. 2) de los cinco tipos de chiles habanero que representan la diversidad de la especie en la región: *H. naranja*, *H. rojo*, *H. amarillo*, *H. blanco* y *H. morado*). Esto permitirá, no sólo utilizar estos patrones de ADN para estudiar la diversidad genética “*inter-tipos*” e “*intra-tipos*” en chile habanero, sino también proteger legalmente, la identidad de los chiles criollos de Yucatán, aspecto básico para la Denominación de Origen del chile habanero de Yucatán.



**Figura 3.** Plántulas de las variedades criollas que han sido seleccionadas por sus características sobresalientes.



**Figura 4.** Germoplasma de chile habanero conservado en forma de semilla en el CICY

Producto de la recopilación de información durante el proceso de evaluación y caracterización del germoplasma de chile habanero conservado, contamos con una base de datos que constituye una herramienta de mucho valor para la selección de variedades para su consumo fresco, exportación, industria) o para su incorporación a los programas de mejoramiento genético (parentales). Actualmente, ocho de estas variedades criollas evaluadas, por resultar las más picantes, muy productivas y de alta calidad de frutos, ya se encuentran establecidas en invernaderos altamente tecnificados de la empresa de salsas y condimentos “La Anita”, con el propósito de seleccionar las mejores para la elaboración de sus productos en conserva (Fig. 3). Ha sido de mucha utilidad, además, la identificación de los chiles más picantes mediante la determinación de capsaicinoides por HPLC. Estos análisis nos permitieron conocer, no sólo que en Yucatán se encuentra el chile habanero más picante conocido (NP1EG: 850,000-1,000,000 UHS<sup>1</sup>) a la fecha, sino que la mayoría de los chiles criollos colectados en la región supera las 600,000 UHS, lo que cambia drásticamente el criterio sobre la clasificación internacional del chile habanero, por su grado de picor o pungencia. Nuestros cultivares son, por tanto, los habaneros más picantes del mundo, validado con reportes científicos estrictos, por lo que constituyen además, una excelente fuente para la extracción de oleoresina (capsaicina) industrial. Esta colección se conserva en forma de semilla en la UBBMP (Fig. 4).

---

1 Unidades Scoville (por sus siglas en Inglés, *Scoville heat units*). (n. del Ed.)

La reducción de pérdidas por enfermedades causadas por patógenos y el uso eficiente de los recursos hídricos y nutrimentales en chile habanero también han mantenido ocupados a los investigadores de nuestra Unidad. La búsqueda de variedades resistentes puede facilitarse mediante el uso de marcadores bioquímicos y moleculares. Los investigadores que han venido trabajando en este sentido han identificado diversos marcadores, como son la actividad biológica de proteínas relacionadas con la patogénesis (Proteínas PR) o los genes que las codifican. Por otro lado, han identificado también, genes de chile habanero que parecen estar relacionados con la inducción de resistencia, así, se ha logrado inducir resistencia a *Phytophthora capsici*. Se ha avanzado además, en los trabajos de mejoramiento para la productividad, y estudios relacionados con los mecanismos por los cuales las raíces perciben el nitrógeno en el suelo, indican que podemos redirigir el crecimiento radicular como respuesta a ello. Otro aspecto que se está abordando en el programa de chile habanero en la Unidad es de qué manera el nitrógeno que toman las plantas por las raíces puede incorporarse en aminoácidos disponibles para formar capsaicina en los frutos.

### **Bioteología de chile habanero**

Capsicum es un género reconocido como recalcitrante a la diferenciación y regeneración de plantas bajo condiciones *in vitro*, razón por la que resulta muy difícil aplicar las técnicas biotecnológicas para su mejoramiento genético. Aunque son pocos los reportes de morfogénesis de chile *in vitro*, hasta fecha reciente, sólo se había logrado la inducción de brotes y la embriogénesis somática en la especie *C. annum* (Agrawal y Chandra, 1983; Ochoa-Alejo e Ireta, 1990; Arroyo y Revilla, 1991; Szasz *et al.*, 1995; Ramírez-Malagón y Ochoa-Alejo, 1996; Binzel *et al.*, 1996; Husain *et al.*, 1999; Harini y Lakshmi, 1993; Buyukalaca y Mavituna, 1996; Binzel *et al.*, 1996; Steintz *et al.*, 2003). Sin embargo, todos los protocolos establecidos tienen varios problemas en común: *baja eficiencia, baja reproducibilidad, baja capacidad de germinación y alto índice de embriones deformados*. Esto ha venido limitando notablemente el uso de las técnicas biotecnológicas para el mejoramiento de las especies del género Capsicum.



**Figura 5.** Plántulas de chile habanero propagadas por inducción de brotes múltiples.



**Figura 6.** Embriones somáticos de chile habanero obtenidos directamente del explante (hipocotilo), en medio líquido.

Hay que mencionar que nuestro grupo ha sido pionero en los trabajos de morfogénesis *in vitro* de chile habanero (*C. chinense*) (Santana-Buzzy *et al.*, 2005; Santana-Buzzy *et al.*, 2006; López Puc *et al.*, 2006; Zapata-Castillo *et al.*, 2007; Montalvo-Peniche *et al.*, 2007; Canto-Flick *et al.*, 2008; Santana-Buzzy *et al.*, 2009). El primer protocolo de regeneración que logramos establecer fue el de inducción de brotes múltiples (Fig. 5), con escalado a un sistema de inmersión temporal diseñado por el Dr. Manuel Robert (BioMinT) donde pudimos superar la elongación de los brotes que es un problema serio en el género. También hemos logrado, a diferencia de lo que se ha reportado para *C. annum*, protocolos de embriogénesis somática en chile habanero, eficientes y reproducibles, tanto directa como indirectamente. Contamos además, con el primer protocolo de Embriogénesis Somática Directa en Medio Líquido (Fig. 6). Sin embargo, la alta frecuencia de embri-

ones deformados, así como la baja capacidad de germinación de los embriones, aún limitan la utilización de estos sistemas de regeneración para el mejoramiento genético de la especie. Estamos trabajando para determinar cuáles factores pudieran estar involucrados en la recalcitrancia del género. La presencia del etileno durante la histodiferenciación de los embriones somáticos es uno de los factores que nos interesa, así como identificar genes que pudieran estar implicados en este fenómeno. También el papel de las proteínas, particularmente las de reserva, en la baja capacidad



de germinación de los embriones, así como el de las poliaminas endógenas, son temas que nos vienen ocupando, por un lado para, al menos, reducir los efectos de la recalcitrancia en el género *Capsicum*, y por otro, lograr una mayor comprensión sobre el fenómeno de la recalcitrancia a la morfogénesis *in vitro* que sufren muchas especies vegetales.

Actualmente somos un grupo consolidado y pionero en las investigaciones sobre la biotecnología del chile habanero, no sólo a nivel nacional, sino también a nivel internacional. Hemos podido hacer importantes aportes: contamos con los primeros protocolos de embriogénesis somática para chile habanero y los más eficientes reportados, a la fecha, para el género *Capsicum*. Estos resultados nos acreditaron para formar parte del grupo de autores de un libro sobre cultivo de tejidos, para una editorial de prestigio internacional. Escribiremos el capítulo sobre *Cultivo de Tejidos de Capsicum*.

### **Análisis y Perspectivas**

La creciente demanda de chile habanero en el mercado, en contraste con la marcada reducción de los rendimientos en la región, evidencian que no existe un manejo eficiente del cultivo. Esta situación se hace más evidente y crítica, con la Denominación de Origen que recientemente se le otorgó al chile habanero de Yucatán. La falta de una tecnología para la producción de semilla y la ausencia de un programa de mejoramiento genético que permita seleccionar de manera sistemática, cultivares mejores adaptados, más tolerantes y más productivos de variedades regionales, son algunos de los problemas más serios que afectan el cultivo en la región.

En los últimos años, nuestras investigaciones han estado dirigidas hacia el mejoramiento genético de chile habanero. Uno de nuestros principales objetivos ha sido la selección de cultivares criollos que, además de ser más productivos, sean portadores de aquellos atributos que distinguen al chile habanero de Yucatán de los que se cultivan en cualquier otra región del mundo (sabor, aroma y picor). El estudio sobre los requerimientos nutricionales que estamos desarrollando contribuirá definitivamente a hacer un uso más eficiente de los recursos, mediante la aplicación racional del agua y de los nutrientes, así como de productos para el control de plagas y enfermedades, lo que además redundará en beneficio de la salud de los trabajadores agrícolas y del medio ambiente.

La reincorporación de variedades *locales o criollas* de chile habanero al esquema varietal del cultivo en la región es el inicio irreversible de innovación de la tecnología de manejo de este importante cultivo en la región. Actualmente contamos con poblaciones avanzadas de semillas de un grupo de cultivares que se destacan particularmente por sus altos rendimientos, por su elevada pungencia, por la forma, tamaño y uniformidad de sus frutos, así como por la vistosidad de sus colores, entre otras características de interés. Estos cultivares han sido seleccionados del germoplasma de la especie que existe en la región. Paralelamente, hemos desarrollado protocolos para la identificación de genotipos de chile habanero, a partir de su ADN; para la micropropagación y para la conservación *in vitro*, como alternativas para la multiplicación y preservación de materiales genéticos de alto valor agronómico y/o genético. Hemos desarrollado, además, el primer protocolo de Embriogénesis Somática para la especie *C. chinense*, a nivel internacional, y el más eficiente y reproducible del género *Capsicum*. Contamos, asimismo, con protocolos altamente confiables para la cuantificación e identificación de capsaicinoides por HPLC, para la identificación de genes de resistencia a enfermedades del cultivo y también para el diagnóstico molecular de virus, hongos y bacterias en este importante cultivo. Todos estos avances representan el soporte científico-metodológico para desarrollar un programa de mejoramiento genético altamente eficiente, que permitirá liberar de manera sistemática nuevos cultivares de chile habanero mucho más productivos, más tolerantes, de mayor calidad de fruto y mejores adaptados al ecosistema de la región. Sin embargo, es importante mencionar que para que estas variedades lleguen a manos del productor, se requiere semilla. Esa es la tarea que nos tiene ocupados en estos momentos en nuestra Unidad.

### **Publicaciones de chile habanero**

- Canto-Flick, A., L. G. Iglesias-Andreu, E. Balam-Uc, Jericó J. Bello-Bello, C. A. Lecona-Guzmán, D. Solís-Marroquín, S. Avilés-Viñas, E. Gómez-Uc, G. López-Puc and N. Santana-Buzzy. 2008. Capsaicinoids Content in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) Hot-test Known Cultivars. *HortScience*. 43(5): 1344-1349.
- López-Puc, G., A. Canto-Flick, F. Barredo-Pool, P. Y. Zapata-Castillo, M. C. Montalvo-Peniche, F. Barahona-Pérez, L. G. Iglesias-Andreu, and N. Santana-Buzzy. 2006. Direct Somatic Embryogenesis: A Highly Effi-

- cient Protocol for *In vitro* Regeneration of Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). HortScience. Vol. 41(7): 1645-1650.
- Montalvo-Peniche, M. C., L. G. Iglesias-Andreu, J. O. Mijangos-Cortés, S. L. Nahuat-Dzib, F. Barahona-Pérez, A. Canto-Flick, N. Santana-Buzzy. 2007. *In vitro* Germplasm Conservation of Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). HortScience. 42(5):1247-1252.
- Santana-Buzzy, N., A. Canto-Flick, L. G. Iglesias Andreu, M. C. Montalvo Peniche, G. López Puc, F. Barahona-Pérez. 2006. Improvement of *In vitro* Culturing of *Capsicum chinense* Jacq. by Inhibition of Ethylene Effects. HortScience. Vol. 41(2): 405-409.
- Santana-Buzzy, N., G. López-Puc, A. Canto-Flick, F. Barredo-Pool, E. Balam-Uc, S. Avilés-Viñas, D. Solís-Marroquín, C. Lecona-Guzmán, J. J. Bello-Bello, E. Gómez-Uc and J. O. Mijangos-Cortés. 2009. Ontogenesis of the Somatic Embryogenesis of Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). HortScience. 44(1):113–118.
- Santana-Buzzy, N., A. Canto-Flick, F. Barahona-Pérez, M. C. Montalvo-Peniche, P. Y. Zapata-Castillo, A. Solís-Ruiz, A. Zaldívar-Collí, O. Gutiérrez-Alonso, M. L. Miranda-Ham. 2005. Regeneration of Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) Via Organogenesis. HortScience. 40(6): 1829-1831.
- Zapata-Castillo, P. Y., G. López Puc, A. Canto-Flick, A. Solís-Ruiz, F. Barahona Pérez, L. G. Iglesias Andreu and N. Santana-Buzzy, N. 2007. Somatic Embryogenesis in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) From Cell Suspensions. HortScience. Vol. 42(2): 329-333.



# **Biomateriales para aplicaciones médicas**

*Juan Valerio Cauich Rodríguez y José Manuel Cervantes Uc*

## **La historia de los biomateriales**

En el pasado, cuando un ser humano sufría de alguna dolencia o enfermedad, los médicos disponían de pocos recursos para enfrentar este problema, y en consecuencia, se recurría a la amputación o extirpación del tejido u órgano dañado. Esta práctica estaba bastante generalizada en el mundo antiguo y aunque llegaba a salvar vidas, dejaba al ser humano con serias deficiencias que deterioraban su calidad de vida. En algunos casos, sin embargo, ciertos materiales fueron usados con fines distintos en las sociedades egipcias, griegas o romanas, y en América, por los incas, aztecas o mayas.

Los primeros materiales que se usaron con fines médicos fueron materiales naturales como madera, marfil o vidrio. Estos biomateriales de primera generación simplemente sustituían una parte del cuerpo (patas de palo, ojos de vidrio, etc.) y poco se sabía de su interacción con el cuerpo humano. Después de la Segunda Guerra Mundial, la situación cambió súbitamente debido a la aparición de antisépticos, antibióticos, vacunas y prácticas higiénicas en los hospitales. Fue entonces cuando se inició el uso de polímeros en la medicina en forma de lentes de contacto y el uso de metales en forma de clavos para fijación de fracturas. Pese a estas aplicaciones, lo que se buscaba simplemente era que el material no fuera dañino o tóxico para el ser humano. Posteriormente aparecieron los materiales bioactivos, biodegradables o reabsorbibles, es decir, aquellos que promovieran su integración al medio biológico o que indujeran una respuesta adecuada. Ejemplos de estos materiales son la hidroxiapatita, los fosfatos tricálcicos ( $\alpha$  y  $\beta$ ), y los biovidrios y las vitrocerámicas. Actualmente se busca la regeneración tisular mediante el uso de materiales biodegradables, sembrados con célu-

las autólogas que promuevan, después de cierto tiempo, el crecimiento de un tejido natural similar al dañado.

### **Usos de los biomateriales en medicina**

Los biomateriales son actualmente definidos como aquellos materiales naturales o sintéticos que se utilizan para restablecer la función de un tejido u órgano dañado en el ser humano. En un sentido más estricto, son aquellos materiales que se usan para restaurar las funciones perdidas en órganos o tejidos a causa de enfermedades, accidentes o malformaciones congénitas. Estos materiales incluyen a los polímeros (como los plásticos), los metales (como el titanio), los cerámicos (como la circonia) y a veces, combinaciones de ellos, a los cuales se conoce como materiales compuestos.

Las aplicaciones de los biomateriales van desde aplicaciones oftalmológicas, dentales y ortopédicas, hasta aplicaciones más especializadas en el área cardiovascular o en el sistema nervioso. De esta forma, se pueden usar como lentes de contacto, sellantes y obturantes dentales, cementos óseos, injertos vasculares, válvulas cardíacas y soportes para el crecimiento guiado de neuronas. Muchas partes del cuerpo humano (piernas, rodillas, cadera, manos, etc.) pueden ser sustituidas por los biomateriales, a tal grado que ya casi todo el cuerpo humano puede ser reconstruido.

El desarrollo de materiales con aplicaciones en medicina es un proceso largo, ya que requiere la síntesis de los materiales, su transformación con la geometría adecuada (tubos, películas, perfiles complejos, etc.) y finalmente, numerosos ensayos físicos, químicos y mecánicos que garanticen su calidad. Además, no hay que olvidar que como estos materiales van a estar en contacto con una parte de nuestro cuerpo también se le deben hacer estudios para verificar que no sean tóxicos o que causen algún daño (nosotros les llamamos ensayos de biocompatibilidad). Por lo tanto, para colaborar con el desarrollo de estos materiales se necesitan profesionistas o técnicos en varias áreas, tales como la química, la ingeniería, la biología, la medicina, la veterinaria, etc.

### **Los proyectos sobre biomateriales desarrollados en el CICY**

Todo proyecto que se inicia en el CICY tiene su historia propia y el área de biomateriales no fue la excepción. El primer proyecto

aprobado en esta área por el Conacyt en 1998 se tituló “Cementos óseos acrílicos con refuerzos bioactivos para el control del aflojamiento aséptico en implantes” y fue originalmente aprobado cuando el Dr. Cauich aún se encontraba en el Departamento de Polímeros del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. Como el convenio no había sido firmado, las autoridades del Conacyt permitieron que este proyecto, otorgado bajo la modalidad de joven investigador, fuera realizado en el CICY.

Los cementos óseos son materiales poliméricos que se usan para fijar prótesis de cadera. Estos materiales no sólo sirven como relleno entre una prótesis metálica y el hueso, sino que también proporcionan un medio para transferir cargas mecánicas complejas.

La primera estudiante involucrada en este proyecto, Ericka Islas Blancas, vino desde la Ciudad de México donde estaba adscrita a la Facultad de Ciencias de la UNAM. Posteriormente, a principios de 1999, Manuel Cervantes, quien aún era técnico académico, se incorporó al proyecto e iniciamos formalmente la era de los biomateriales en la Unidad de Materiales.

Nuestra propuesta se basaba en el hecho de que los cementos óseos convencionales, tradicionalmente preparados con metacrilato de metilo (monómero), presentaban varios problemas que van desde el daño químico y térmico al hueso hasta la obtención de materiales que son frágiles y poco resistentes. Debido a esto y a nuestra formación como químicos, nos dedicamos a modificar la matriz polimérica y desarrollamos cementos óseos con monómeros funcionalizados que promovieran la adhesión de osteoblastos (células formadoras de hueso). Este proyecto representaba un reto aún mayor, pues era evidente su naturaleza multidisciplinaria. No sólo se trataba de incorporar metacrilatos alifáticos ácidos o alcalinos, o bien, de hacer nuevos monómeros aromáticos, sino que también teníamos que caracterizar estos materiales en función de su desempeño fisicoquímico y darle el tratamiento correspondiente como cualquier material polimérico. Más aún, los cementos óseos tienen que soportar cargas mecánicas de variable magnitud y en varios modos de deformación mecánica, con lo cual, la evaluación de su desempeño mecánico era de importancia primordial. Para ello, recurrimos a la implementación de ensayos mecánicos de tensión, compresión, flexión, impacto y en cortante. Finalmente, lo que determinaría su éxito como biomaterial, sería su comportamiento en un ambiente

biológico, y para ello tuvimos que cultivar osteoblastos sobre ellos, y en algunos casos, implantarlos en conejos.

En la primera etapa del proyecto trabajaron principalmente estudiantes de Licenciatura y un estudiante de Doctorado, algunos de los cuales aparecen en la figura 1. Los trabajos realizados en esta etapa incluyeron la determinación de propiedades térmicas (Lerma H. Chan Chan), la elaboración de prótesis simuladas (Amílcar Santos), la incorporación de dimetacrilatos como agentes entrecruzantes (Francisco Balam Pool), la incorporación simultánea de monómeros ácidos y alcalinos (María de los Ángeles Perera Ávila), la preparación de mezclas poliméricas a partir de los metacrilatos utilizados (César Dzul Dzul), la determinación de la porosidad (Alejandro Canal Chuil) y la síntesis de nuevos monómeros aromáticos (José Manuel Cervantes Uc).

En una segunda etapa del proyecto, ya con la participación de Rossana Vargas como técnico asociado al proyecto, utilizamos cerámicos bioactivos como la hidroxiapatita (Edgar André Padilla y Rivero) y el fosfato tricálcico-alfa para mejorar la biocompatibilidad. Esta propiedad se ha mejorado aún más con la incorporación de hueso bovino.



**Figura 1.** Grupo de biomateriales naturales y sintéticos.

Por lo tanto, todo el trabajo llevado a cabo (la síntesis y la caracterización física, química, mecánica y biológica) para que los materiales desarrollados en el CICY pudieran ser considerados aptos para su uso en seres humanos nos llevó cerca de 10 años. Estos estudios sirvieron de base para el inicio de otro proyecto denominado “Preparación y caracterización de cementos óseos con propiedades mejoradas para vertebroplastía percutánea y cifoplastía”, a cargo del Dr. Manuel Cervantes. Este proyecto también consiguió financiamiento del Conacyt en el 2005, aunque los recursos no comenzaron a llegar sino hasta el 2007.



La Vertebroplastía Percutánea (VPP) y la Cifoplastía (CP) son procedimientos quirúrgicos de mínima invasión cuyo uso se ha incrementado para tratar el dolor agudo o persistente ocasionado por las fracturas vertebrales. El proceso involucra la inyección de un material acrílico (cemento óseo) a través de una aguja. Una vez que el material ha curado, éste estabiliza el cuerpo vertebral, y por lo tanto, se produce una reducción o eliminación del dolor.

Aunque no lo parezca, las fracturas vertebrales representan la lesión esquelética más frecuente en individuos con osteoporosis. Se ha reportado que en la Unión Europea se presentan cerca de 440,000 casos, mientras que en los Estados Unidos, el número es de 700,000, aproximadamente, cada año. De lo anterior se puede deducir que la investigación en este campo es importante.

Como en el caso de los cementos óseos para artroplastía, las formulaciones comerciales para VPP y CP poseen desventajas, entre las que se encuentran: su alta viscosidad (lo cual hace difícil inyectar el material), tiempos de curado cortos (endurecimiento), su alta exoterma de reacción, su pobre radiopacidad y su baja biocompatibilidad. El éxito del proyecto que se desarrolla todavía en el CICY se basa en el hecho de que la incorporación de algunos monómeros retarda el endurecimiento de los cementos, por lo que se decidió incorporarlos a las formulaciones para VPP. Lo anterior permitirá tener un mayor tiempo para la inyección de estos materiales en las vértebras. En este proyecto, la primera estudiante fue Olga Cisneros Pineda, quien realizó su tesis de maestría; posteriormente se incorporaron al grupo de trabajo las estudiantes de licenciatura Laura Esquivel Hernández y Carolina Navarrete Pérez. En este punto conviene señalar que los resultados obtenidos por el grupo de biomateriales del CICY, en los proyectos sobre cementos óseos, ha trascendido fronteras, llegando incluso una estudiante de la Universidad de Cali, Colombia (Mayra Valencia Zapata), para desarrollar su tesis de maestría con nosotros.

Al pasar de los años y debido a lo amplio del área de biomateriales, decidimos trabajar en materiales para aplicaciones cardiovasculares, es decir, aquellos que pueden ser usados en el sistema circulatorio (en contacto con sangre, aunque suene desagradable). En estos proyectos, apoyados por Conacyt (Polímeros naturales y sintéticos portadores de óxido nítrico y su evaluación en aplicaciones cardiovasculares [43175] y Obtención de poliuretanos biodegradables para ingeniería de tejidos en el campo cardiovascular [79371]), por ejemplo, tratamos de fabricar válvulas car-

diacas o injertos vasculares de bajo calibre (menos de 6 mm de diámetro) y para ello utilizamos poliuretanos similares a los que se usan para fabricar colchones y almohadas (trabajos de Lerma Hanaiy Chan Chan, Víctor Can Mex y Jordán Nigenda Morales). Estos materiales se han desarrollado con el objetivo de que no sean trombogénicos y con limitada/nula calcificación. En este sentido, hemos desarrollado poliuretanos segmentados a base de 4,4´ metilen bis(ciclohexil diisocianato) y politetrametilenglicol y como extendedores de cadena butanodiol o ditioeritritol con el objeto de que puedan liberar óxido nítrico, un potente inhibidor de la adhesión plaquetaria. También los hemos hecho biodegradables usando policaprolactona como segmento flexible para ser usados en ingeniería de tejidos.

Como parte de este proyecto también usamos pericardio bovino, una membrana que recubre al corazón de los bovinos, obtenido de rastros locales (trabajos desarrollados por Birezabith Mendoza Novelo y Ricardo Vivas Pérez). El pericardio ha sido descelularizado con distintos surfactantes, ha sido entrecruzado y degradado parcialmente por distintas vías para que pueda ser aceptado por el cuerpo humano. En este tema, ya hemos logrado materiales con buenas propiedades mecánicas y actualmente estamos estudiando su hemocompatibilidad.

### **Educación en el área de biomateriales**

Una parte muy importante de la investigación en materiales con aplicaciones médicas es la difusión de estos resultados. Sin embargo, había que iniciar por el principio y la forma natural de hacerlo fue a través de cursos introductorios en biomateriales. Junto con el primer proyecto de investigación, se organizó el primer curso de biomateriales en el año de 1999, el cual tuvo como sede el CICY. Este curso de tres días de duración fue dirigido principalmente a nuestros estudiantes. Posteriores ediciones de este curso ya contaban con la participación de profesores invitados y estudiantes de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y del Instituto Tecnológico de Mérida (ITM), principalmente, aunque llegaron a participar estudiantes de otros estados. Quizá el evento más significativo en materia de difusión se llevó a cabo en mayo de 2004, cuando fuimos sede del Curso de Biomateriales como parte de la Red CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) VIII J: Biomateriales para la Salud. En esa ocasión conta-

mos con la presencia de profesores de España, Portugal, Brasil, Cuba, Argentina y México.

En educación también hemos evolucionado y hemos organizado el primer curso de ingeniería de tejidos en México (abril de 2009) con la participación de profesores de Estados Unidos de América, España, Cuba y México.

### **El futuro de los biomateriales**

Los biomateriales son una alternativa y no hay que tomarlos como la panacea que resolverán los problemas de salud del ser humano; adicionalmente, se encuentran las terapias farmacológicas y los transplantes. Sin embargo, la investigación en el área de los biomateriales está en constante movimiento y actualmente no sólo se buscan materiales que no sean nocivos o que permanezcan inertes en el cuerpo humano, sino que también puedan interactuar con el organismo para que los procesos de recuperación sean más rápidos (a esto le llamamos que sean bioactivos). Más recientemente, la investigación en el área de los biomateriales se ha desarrollado con una filosofía distinta. Ahora es posible extraer células del cuerpo del paciente (por ejemplo, condrocitos provenientes del cartílago) y cultivarlas sobre un soporte adecuado, y cuando ya hayan formado un nuevo tejido, entonces son implantadas para reparar el cartílago dañado. Esto se llama ingeniería de tejidos y también se aplica en la obtención de sustitutos de piel, de hueso, formación de ligamentos y tendones, así como en áreas tan complejas como la de los sistemas cardiovascular y nervioso.

A manera de conclusión, sólo nos resta decir que esperamos, en un futuro no muy lejano, poder salvarle la vida a alguien con nuestros biomateriales.



# Biodiversidad

*Rafael Durán García*

La Unidad de Recursos Naturales ha tenido desde sus inicios como principales objetivos la documentación de la diversidad biológica de la península de Yucatán, especialmente su flora y su vegetación, así como el manejo y la conservación de esta biodiversidad, ligada al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales por parte de los grupos campesinos del campo yucateco.

Tras más de 25 años de actividad, en la Unidad se ha logrado desarrollar la colección de herbario más importante de la región y una de las más dinámicas de todo el país. El Herbario CICY cuenta con más de 60 mil registros de plantas, del 90 al 95 por ciento de ellos, ejemplares provenientes de los tres estados que constituyen la región: Campeche, Quintana Roo y Yucatán.

El desarrollo de esta colección de plantas ha permitido generar importante información sobre la riqueza florística de la península de Yucatán y sobre sus relaciones fitogeográficas. Cabe mencionar el “Listado Florístico de la península de Yucatán” publicado por Durán *et al.* (2000) y la “Flora Ilustrada de la península de Yucatán” proyecto que tiene más de una década de desarrollo bajo la dirección del Dr. Germán Carnevali, sólo por mencionar dos de los principales productos en esta materia, amén de numerosos trabajos publicados a lo largo de estos años (e.g. Carnevali *et al.*, 2000, 2001), de los cuales han emergido 129 nuevos registros de especies para la flora de la región y 23 novedades para la ciencia. En cuanto a aspectos fitogeográficos cabe mencionar los trabajos de Estrada-Loera (1991) y Espadas *et al.* (2003), entre otros.

Por otra parte, se ha contribuido grandemente a documentar el estado que guardan las comunidades vegetales de la península de Yucatán, a través del análisis de su estructura y composición, de su funcionamiento, de su distribución espacial y el estado de conservación en que se encuentran los distintos tipos de vegetación que cubren el territorio peninsular. En este sentido cabe des-

tacar las aportaciones de Campos y Durán (1991), Olmsted *et al.* (1999), Trejo-Torres *et al.* (2003), y más recientemente las aportaciones de Dupuy *et al.* (2007), entre otras.

Por otra parte, se ha avanzado en la tarea de documentar las formas de uso y manejo de la flora regional por parte de las comunidades locales, en especial de especies de importancia alimenticia y medicinal. Entre los trabajos desarrollados con este enfoque podemos mencionar los de Colunga y Zizumbo (2004), Orellana y Durán (1992), Méndez y Durán (1997), Martínez-Castillo *et al.* (2004) y Calvo-Irabien y Soberanis (2008).

En relación con la conservación de la biodiversidad de la región, la Unidad de Recursos Naturales ha jugado un papel muy importante, documentando la diversidad vegetal contenida en las áreas naturales protegidas (ANP) (Durán *et al.* 1999), desarrollando los mapas de vegetación de numerosas ANP (e.g. González-Iturbe *et al.* 1997; Tun-Dzul *et al.* 1998), así como desarrollando estudios en especies prioritarias de conservación, raras, endémicas o en peligro de extinción (Orellana *et al.* 1988; Olmsted y Álvarez-Buylla 1995; Durán *et al.* 1998; Méndez *et al.* 2004).

Si bien, el tema de interacciones biológicas no ha sido uno de los campos de estudio en la Unidad, sí se han realizado algunos trabajos sobre interacciones planta-insecto (Piña-Quijano *et al.*, 1993) y sobre las relaciones micorrízicas de algunas palmas (Carrillo *et al.* 2002). Además, recientemente se ha impulsado en la Unidad una nueva línea de trabajo considerando las interacciones planta-animal.

Un esfuerzo de conservación que merece la pena destacar es el desarrollo del Jardín Botánico Regional del CICY, que durante más de 25 años de trabajo ha venido desarrollando importantes colecciones de plantas nativas de la región, considerando aspectos ecológicos y taxonómicos, contribuyendo a la conservación del germoplasma y a la difusión del conocimiento científico, así como del conocimiento empírico y las formas de uso de este germoplasma por parte de las comunidades locales. En la actualidad el Jardín Botánico contiene poblaciones de plantas nativas de alrededor de 700 especies, en 24 colecciones, destacando ejemplares de plantas útiles y plantas raras, endémicas y/o consideradas en peligro de extinción, prioritarias para la conservación.

La vasta experiencia acumulada a lo largo de estos años ha permitido al CICY liderar la conformación de un consorcio de cen-

tros de investigación e instituciones de educación superior para apoyar proyectos de interés gubernamental en torno a la documentación, manejo, uso y conservación de la biodiversidad de la región.

De esta manera, el CICY ha participado junto con el Cinvestav Unidad Mérida, la Universidad Autónoma de Yucatán, el Instituto Tecnológico de Mérida y el Instituto Tecnológico de Conkal en el desarrollo de los Programas de Ordenamiento Ecológico Territorial, el Ordenamiento Costero del Estado y el Estudio Estatal sobre Biodiversidad, aportando información, conocimientos y experiencias adquiridas a lo largo de estos más de 25 años de investigación sobre la riqueza biológica de la península de Yucatán.

De manera particular, cabe mencionar los avances alcanzados en el desarrollo del Estudio de Biodiversidad del Estado de Yucatán, coordinado por personal de la Unidad de Recursos Naturales del CICY, en el cual se ha logrado acopiar un importante acervo de datos, proveniente de colecciones y fuentes confiables de información, así como recuperar una gran parte del conocimiento y experiencias de numerosos expertos, locales y nacionales, en diversas temáticas relacionadas con la biodiversidad y la situación que guardan los recursos naturales en el Estado de Yucatán.



En este esfuerzo de coordinación se ha logrado incorporar a la comunidad académica de la entidad en esta iniciativa, lo que permite abrir diversas posibilidades para complementar los datos y la información existente sobre la diversidad biológica en la entidad, así como para desarrollar nuevas investigaciones con un enfoque transdisciplinario e interinstitucional.

Cabe señalar que se ha establecido una dinámica en la que un nutrido grupo académico multidisciplinario, conformado por especialistas y expertos, participa activamente en reuniones, cursos, talleres, foros y otros eventos en los que aportan información y experiencias y en conjunto evalúan, analizan y acuerdan las estrategias para presentar y difundir los resultados.

Un aspecto relevante es el hecho de que en esta iniciativa se cuenta con el apoyo, el interés y la decidida participación de los funcionarios públicos de diversas dependencias federales y estatales, encargados de los aspectos normativos, de la gestión y de la vigilancia para el aprovechamiento y manejo sustentable de los recursos naturales.

Asimismo, se han incorporado a este esfuerzo diversas agrupaciones civiles y Organizaciones no Gubernamentales que tienen preocupación e interés por la conservación de los ecosistemas y de especies carismáticas, así como por garantizar el acceso y la justa distribución de los beneficios derivados del aprovechamiento de los productos y servicios que brindan los ecosistemas a los pobladores del estado.



Es de destacar que a partir del desarrollo de este esfuerzo de coordinación han surgido un gran número de iniciativas para la conformación de grupos temáticos en los que participan miembros de distintos sectores, con diferentes niveles de formación, experiencias e intereses, que abordan el análisis de problemas y temas de gran relevancia, como son la apicultura y las mieles de Yucatán; las perspectivas indígena y de género en el acceso, el manejo y el aprovechamiento de la riqueza natural; la problemática relacionada con las plagas y enfermedades (zoonosis) que afectan a la



fauna silvestre, domesticada y a los seres humanos, y la educación para la sustentabilidad ambiental, entre otros.

Todos estos elementos nos permitirán desarrollar, en conjunto con el sector Gobierno, la Estrategia Estatal de Biodiversidad para Yucatán, basada en el conocimiento generado durante décadas por el sector académico y de interés para el sector social. Cabe recalcar que, mediante la preparación de estos instrumentos de política pública se sientan bases importantes para la gestión, que promueva el aprovechamiento sustentable y la conservación de los recursos naturales que posee el Estado de Yucatán y que puedan ser base para el desarrollo de iniciativas similares en la región peninsular.

## Referencias

- Calvo-Irabien, L. M. and A. Soberanis. 2008. Indigenous management practices of Chit (*Thrinax radiata*) in Quintana Roo, Mexico. *Palms*. 52(1): 47-51.
- Campos-Ríos, G. y R. Durán. 1991. La vegetación de la península de Yucatán. En: Apuntes del Curso-Taller para maestros "El Jardín Botánico como Herramienta Didáctica". Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yuc. pp. 23-35.
- Carnevali, G., J. L. Tapia, G. Campos-Ríos, S. Hernández, M. Juan-Qui, I. M. Ramírez and F. May-Pat. 2000. Notes on the Flora of the Yucatan Peninsula I: New Records for the Peninsular Flora I. *Harvard Papers in Botany*. 5(1): 129-156.
- Carnevali, G., J. L. Tapia, R. Jiménez, L. Sánchez, L. Ibarra, I. Ramírez and M. Gómez. 2001. Notes on the flora of the Yucatan Peninsula, II: A synopsis of the orchid flora of the Mexican Yucatan Peninsula and a tentative checklist of the Orchidaceae of the Yucatan Peninsula Biotic Province. *Harvard Papers in Botany*. 5: 383-466.
- Carrillo, L., R. Orellana and L. Varela. 2002. Study of the Mycorrhizal Association in Three Species of Native Palms on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Palms*. 46(1): 39-46.
- Colunga, P. and D. Zizumbo. 2004. Domestication of plants in Maya lowlands. *Economic Botany*. 58.
- Dupuy, J. M., J. A. González Iturbe, S. Iriarte, L. M. Calvo Irabien, C. Espadas, F. Tun Dzul y A. Dorantes. 2007. Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas*. 62: 104-124.

- Durán, R., J. C. Trejo-Torres and G. Ibarra-Manríquez. 1998. Endemic phytotaxa of the Peninsula of Yucatan. *Harvard Papers in Botany*. 3(2): 263-314.
- Durán R., P. Simá y M. Juan-Qui. 1999. Listado Florístico de Ría Celestún. CICY. Mérida, Yucatán, México. 58 p.
- Durán, R., G. Campos, J. C. Trejo-Torres, P. Simá, F. May-Pat y M. Juan-Qui. 2000. Listado Florístico de la península de Yucatán. CICY-PNUD. Mérida, Yucatán, México. 264 p.
- Espadas, C., R. Durán and J. Argáez. 2003. Phytogeographic analysis of taxa endemic to the Yucatan Peninsula using geographic information systems, the DOMAIN heuristic method and parsimony analysis of endemism. *Diversity and Distribution*. 9: 313-330.
- Estrada-Loera, E. 1991. Phytogeographic relationships of the Yucatan Peninsula. *Journal of Biogeography*. 18: 687-697.
- González-Iturbe, J. A., F. Tun-Dzul y R. Durán. 1997. Mapa de vegetación: Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos. CICY, PRONATURA, SEMARNAP Nature Conservancy.
- Martínez-Castillo J., D. Zizumbo, H. Perales and P. Colunga. 2004. Intra-specific diversity and morpho-phenological variation in *Phaseolus lunatus* L. from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Economic Botany*. 58: 354-380.
- Méndez, M. y R. Durán. 1997. Diagnóstico del conocimiento etnobotánico actual de las plantas medicinales de la península de Yucatán. *Bol. Soc. Bot. México*. 60: 15-24.
- Méndez, M., R. Durán, I. Olmsted and K. Oyama. 2004. Population dynamics of *Pterocereus gaumeri*, a rare and endemic columnar cactus of Mexico. *Biotropica*. 36(4): 492-504.
- Olmsted, I. and E. Álvarez-Buylla. 1995. Sustainable harvesting of tropical trees: Demography matrix models of two palm species in Mexico. *Ecological Applications*. 5: 484-500.
- Olmsted, I., J. A. González-Iturbe, J. Granados-Castellanos, R. Durán y F. Tun-Dzul. 1999. Vegetación de la península de Yucatán. En: García de Fuentes, A., J. Córdoba, P. Chico (ed.), *Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán*. pp. 183-194.
- Orellana, R., N. Ayora and C. López. 1988. *Ex situ* studies on five threatened species in the Yucatan Peninsula, México. *Botanic Gardens Conservation News*. 2: 20- 23.
- Orellana, R. y R. Durán, 1992. Las palmas de la península de Yucatán. Un patrimonio que debemos conservar. *Gaceta Universitaria*. 14: 22-28.
- Piña-Quijano, P., F. Tun-Dzul y R. Orellana. 1993. Plantas hospederas de *Myndus crudus* Van Duzee (Homoptera: Cixiidae) en el Estado de Yucatán. *Memorias del XXVIII Congreso Nacional de Entomología*. Cholula, Puebla. pp. 320-321.

- Trejo-Torres, J. C., R. Durán e I. Olmsted. 1993. Manglares de la península de Yucatán. En: Salazar-Vallejo y González (ed.). Biodiversidad Marina y Costera de México.-CONABIO-CIQRO. México. pp. 660-672.
- Tun-Dzul F., J. A. González-Iturbe y R. Durán. 1998. Mapa de vegetación. Reserva Ría Celestún. CICY, PRONATURA, SEMARNAP, Nature Conservancy.



# El Centro para el Estudio del Agua y su labor

*Mario Rebolledo Vieyra y Alfonso Larqué Saavedra*

## **Introducción**

En el año 2002, el CICY festejaba 23 años de fundación y se preparaba ante la inminencia del aniversario número 25. Fue en este mismo año que el gobierno de Quintana Roo se acercó al CICY para solicitar que se instalara una sede del mismo en el Estado (Fig. 1). En una reunión convocada por el Dr. Oscar Vázquez, director de la Delegación del Conacyt en el Sureste, y la MC. Cecilia Loria, Secretaria de Educación del Gobierno de Quintana Roo, conjuntamente con el director del CICY, se propuso fortalecer la investigación científica en el citado Estado. Como producto de esa reunión, el gobernador Hendricks propuso al Director General del Conacyt, Ing. Jaime Parada, el establecimiento de una sede del CICY en ese estado. El Director del Conacyt y el Ing. Felipe Rubio, Director de los Centros Conacyt, le encomendaron al Director del CICY atender la solicitud planteada.

Después de numerosas reuniones en Mérida y en Chetumal, el CICY definió que la nueva sede debería de trabajar en el acuífero peninsular, por la relevancia del agua dulce para el desarrollo del turismo en el citado estado. La participación del Dr. Víctor Loyola, director académico, en la primera etapa del proyecto fue importante, así como la del Dr. Luis Marín quien, como coordinador de la Red del Agua de la Academia Mexicana de Ciencias, coordinó dos reuniones de gran importancia en las instalaciones del CICY, una de ellas con miembros de la Academia de Ciencias y de la Academia de Ingeniería de los Estados Unidos, de las que se derivó la propuesta final de llamarle Centro de Estudios Estratégicos del Agua, mismo que fue presentado al Gobernador de Quintana Roo, Lic. Joaquín E. Hendricks, y a la M. en C. Cecilia Loria y otros secretarios de Estado, en la casa de Gobierno del Estado en Cancún. En la citada reunión estuvieron el Dr. Luis Marín, el Ing. Felipe Rubio, el Dr. Pedro Herrera, recién nombrado director

académico del CICY, y el Director General del CICY, quien presentó el modelo del centro que se deseaba formar. El gobernador aprobó la propuesta de crear una sede del CICY en el estado. Debe mencionarse que este logro se debió en gran medida al apoyo y definición de la maestra Loria, quien en todo momento trabajó con las autoridades locales y del CICY para que se concretara la iniciativa. Se autorizó por el gobierno de estado de Quintana Roo la donación del edificio, dinero semilla para apoyar con un sobresueldo a los nuevos investigadores que se contratasen y apoyo básico de intendencia.

Con gran alegría, el Consejo Interno tomó la definición del Gobierno del Estado de Quintana Roo y pronto se convocó a una reunión extraordinaria del Órgano de Gobierno, en la que se informó de tal decisión así como de la incorporación del estado de Quintana Roo al Órgano de Gobierno del CICY.

Fue el 18 de marzo de 2004 que se celebró la primera sesión extraordinaria de Asociados del CICY.

## **El inicio**

Una de las primeras tareas sustantivas del proyecto, además de conseguir la sede del nuevo Centro, fue la de contratar al personal académico que se encargaría de iniciar las actividades de investigación. En ese momento se decidió que era deseable contratar a alguien que conociera la Península desde el punto de vista geológico y/o geofísico, por lo se buscó a un investigador con dicho perfil. Es así que durante el invierno del 2003, el Dr. Alfonso Larqué se puso en contacto con el Dr. Mario Rebolledo, quien se encontraba realizando una estancia post-doctoral en el Laboratorio de Ciencias del Clima y del Medio Ambiente (LSCE, por sus siglas en francés) del Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS, por sus siglas en francés) en Gif-sur-Yvette, Francia. El Dr. Rebolledo realizó su tesis doctoral alrededor de la exploración del cráter de impacto de Chicxulub y tenía un amplio conocimiento de las características geológicas y geofísicas de la región.

Así las cosas, el Dr. Rebolledo se incorporó al CICY el 16 de mayo de 2004, asignándosele la misión de sugerir candidatos para integrarse al nuevo Centro. Durante esta primera etapa, el Centro para el Estudio del Agua (CEA) estuvo adscrito a la Unidad de Recursos Naturales, cuyo director era el Dr. Roger Orellana y quien fue el responsable directo de la contratación del Dr. Rebolledo.

Así, el 3 de enero de 2005, el Dr. Mario Rebolledo, acompañado por los técnicos Adrien LeCossec y Mélina Soto, tomó posesión de las instalaciones del Centro en Cancún. Una vez constituido legalmente el CEA, el siguiente paso fue definir la Misión y la Visión del Centro, a saber:

### **Misión y Visión**

Contribuir al aprovechamiento y manejo sustentable de los recursos hídricos de la Península de Yucatán, con énfasis en el agua subterránea, a través de:

- El desarrollo de investigación científica en hidrogeología y calidad del agua, para determinar la vulnerabilidad y conservación de los mantos acuíferos.
- Difusión del conocimiento generado, la vinculación con la sociedad e instancias de gobierno y la formación de recursos humanos de alto nivel.

Ser un Centro de prestigio regional, nacional e internacional por sus aportaciones a la conservación y aprovechamiento de los mantos acuíferos de la Península a través de:

### **La Visión**

El desarrollo de investigación científica de frontera, el diseño de modelos teóricos y estrategias apropiadas en dos líneas de investigación principales:

1. Hidrogeología, los objetivos planteados son delimitar geográficamente las cuencas de captación y sus zonas de recarga, cuantificar el volumen de agua en los acuíferos de la región.
2. Calidad del agua, tanto para uso agrícola e industrial, como para consumo humano y el monitoreo constante de la misma.

Ambas líneas deben desarrollarse en paralelo, pues la información generada en cada una es complementaria de la otra, ya que es tan importante saber de cuánta agua se dispone en la región, como saber de qué calidad es ésta.

### **El Centro**

Una vez definidas las líneas de investigación inició el proceso de adecuación y modificación de las instalaciones para albergar laboratorios para análisis químicos y microbiológicos, así como la adquisición de la infraestructura analítica para tratar muestras de agua. Paula-

tinamente, la planta de profesores-investigadores, de los cuales seis son miembros del Sistema Nacional de Investigadores, así como de técnicos, fue creciendo, hasta llegar a la plantilla actual:

### **Investigación**

El CEA actualmente desarrolla proyectos de investigación interdisciplinarios que cubren sus líneas de investigación, financiados por diferentes entidades: Conacyt, el Banco Mundial, el programa UC-MEXUS, Fondos Mixtos y el CICY mismo. Dentro de estos proyectos cabe destacar el que, hasta el momento, es el logro más importante del CEA. El 5 de junio de 2008, el CEA firmó un convenio de colaboración con la Secretaría de Desarrollo y Medio Ambiente de Quintana Roo, para llevar a cabo la propuesta del CEA de “Creación de una Reserva Hidrogeológica para el Norte de Quintana Roo”, la cual ya ha funcionado como eje rector en la toma de decisiones del nuevo Plan de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) del municipio de Solidaridad. Los científicos del CEA estiman que con esta reserva se garantiza el desarrollo sostenible de la Riviera Maya, al menos, para los próximos 70 años. El CEA sometió una propuesta al Fondo Mixto Yucatán – Conacyt, convocatoria 2008, para crear una reserva hidrogeológica en el anillo de cenotes de Chicxulub, el cual fue aprobado y tendrá una duración de dos años. Es necesario mencionar que la reserva creada en Quintana Roo es la primera en su tipo en todo el continente americano, lo cual ha colocado al CEA como el líder, no sólo en México, si no en América, en la investigación y ejecución de este tipo de proyectos que resultan de la mayor trascendencia en un mundo donde conservar los recursos hídricos es cada día más apremiante.

### **Vinculación**

Durante su primer año, el CEA logró establecer una colaboración con el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología para desarrollar el proyecto “Descargas de aguas subterráneas y nutrientes en la laguna arrecifal de Puerto Morelos”, financiado por el Banco Mundial por un periodo de cinco años, el cual está llegando a su fase final en este año. Asimismo, el CEA firmó un contrato de servicios con el Parque Xel-Ha, para desarrollar el proyecto: “Programa de monitoreo de las aguas subterráneas en los alrededores de la Caleta de Xel-Ha”.



En los años siguientes, el CEA continuó vinculándose con la iniciativa privada del estado de Quintana Roo: Parque Xcaret, Calizas Industriales El Carmen, S.A. de C.V., Alltournative, Río Secreto, Hotel Maroma, lo cual lo ha posicionado como un referente en la zona en cuanto a estudios hidrológicos, permitiéndole participar en 2008, en el programa “*Dirty Secrets*” de la serie *Strange Days on Planet Earth* de *National Geographic*. Al mismo tiempo, ese posicionamiento le ha exigido contar con un laboratorio acreditado en Análisis de Calidad del Agua, por lo que trabaja en conjunción con personal de los otros laboratorios acreditados del CICY, en su proceso de acreditación y en el establecimiento de su sistema de control de calidad.

Asimismo, durante estos primeros cinco años, el CEA ha suscrito importantes convenios de colaboración con otras instituciones académicas, dentro de las cuales destacan UNAM, Comisión Nacional del Agua, Instituto Tecnológico de Cancún, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad del Négev (Ben Gurion), Israel, Universidad de Kent, Ohio, EUA.

### **Formación de recursos humanos**

Como lo plantea su Misión, el CEA debe formar recursos humanos de alto nivel. Si bien, en su corta vida aún no cuenta con un programa de posgrado propio, el CEA ha recibido a un número importante de estudiantes de diversos niveles y nacionalidades, que han desarrollado prácticas profesionales, tesis de licenciatura y maestría: 1 tesista de maestría, 2 tesistas de licenciatura, 8 estudiantes para prácticas profesionales, 2 estudiantes en el programa del Verano de la Investigación Científica y actualmente se desarrollan tres tesis de maestría; de éstos, ha recibido a 8 mexicanos, 4 franceses y 1 holandés.

Los profesores del CEA participan activamente, gracias a los convenios firmados, en los programas de posgrado del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y Ciencias de la Tierra de la UNAM y en la Maestría en Ciencias en Energía Renovable del CICY.

### **El futuro inmediato**

El CEA tiene ante sí el gran reto de consolidarse como centro de investigación. Para ello, requiere que su planta académica se posicione cada día mejor en el medio académico de México, sin em-

bargo, esto es sólo una parte del reto, pues no menos importante es la participación e incidencia en el desarrollo de políticas públicas y toma de decisiones en la conservación de los recursos hídricos, que necesariamente pasa por la conservación del medio ambiente, para cumplir cabalmente con su Misión y Visión.

El CEA ha dado pasos firmes y decididos en esa dirección. El camino se antoja largo y sinuoso, pero el mayor activo del CEA, hoy llamado Unidad de Ciencias del Agua, es la juventud y profesionalismo de sus miembros, quienes con el respaldo del prestigio labrado en 30 años del CICY, sabrán llevar a buen puerto la misión encomendada.



Gobierno del Estado Libre y  
Soberano de Quintana Roo  
Cd. Chetumal, Q. Roo.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN Y  
CULTURA.  
DESPACHO DE LA C. SECRETARÍA.  
OFICIO No. 194/2002

3 de mayo de 2002.

ING. JAIME PARADA AVILA.  
DIRECTOR GENERAL DEL CONACYT.

Dada la relevancia que tiene para nuestro estado el desarrollo científico y tecnológico y con la finalidad de promover la formación de recursos humanos de alto nivel, hemos establecido contacto con el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán (CICY), cuyo Director General es el Dr. Alfonso Larqué Saavedra.

Derivado de lo anterior queremos manifestarle nuestro decidido interés de que se considere la posibilidad de instalar una unidad del CICY en el estado de Quintana Roo; en donde inicialmente se desarrollen actividades de investigación en el área biotecnológica.

Conceder de su gran interés por impulsar la ciencia y tecnología, agradezco de antemano el apoyo que pudiera brindar a mi gobierno para llevar a cabo este proyecto que brinde a la juventud quintanarroense mayores expectativas de preparación para el futuro.

ATENTAMENTE  
SUFRAGIO EFECTIVO. NO REELECCIÓN  
EL GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO

LIC. JOAQUÍN ERNESTO HENDRICKS DÍAZ

C.c.p. M.C. Cecilia Rosalía Loria Marin.- Secretaria de Educación y Cultura.  
Dr. Alfonso Larqué Saavedra.- Director General del CICY.  
Dr. Oscar Vázquez Montiel.- Delegado Regional del CONACYT.



**Figura 1.** Oficio del Gobierno del Estado de Quintana Roo, dirigido al Conacyt, solicitando la instalación de una unidad del CICY en el Estado. Originalmente se contempló realizar actividades biotecnológicas en dicha Unidad.

# Bioenergía

*Mascha A. Smit y Liliana Alzate Gaviria*

Uno de los desarrollos recientes en el CICY fue el establecimiento del Programa Institucional de Bioenergía, el cual inició en 2006 como una opción multidisciplinaria de investigación, contando con la participación de todas las unidades del CICY. Actualmente, cuenta con laboratorios propios, infraestructura y un número importante de proyectos aprobados en el tema. De igual forma, ha sido la base para la creación del nuevo posgrado de Maestría en Ciencias en Energía Renovable registrado en el PNPC, el cual encaja dentro de las políticas mundiales y nacionales de desarrollo sustentable y del incremento de las energías renovables en un futuro de corto alcance, esperando así un crecimiento continuo del área en los siguientes años.

## **Establecimiento del grupo**

Dada la histórica disponibilidad del petróleo mexicano, el tema de la energía renovable durante muchos años ha sido relegado a un segundo plano, debido a que tienen dificultades para aparecer como una alternativa económicamente viable en el mercado, especialmente cuando se constata un diferencial negativo de costos privados de las fuentes de energía renovables frente a los combustibles fósiles. Sin embargo, los procesos de producción a partir de combustibles fósiles no incorporan los verdaderos costos ambientales que surgen tanto en la fase de extracción de la materia prima como en el transporte o en la fase de generación de energía fósil, transfiriéndose a la sociedad en forma de deterioro ambiental. En el CICY se ha venido trabajando con materiales para sistemas de energía desde el 2004 específicamente en el área de materiales, además de contar con amplia experiencia en el tema de recursos naturales, ecología, bioquímica y biotecnología. A finales del 2005, se decidió, por iniciativa del Dr. Larqué, unificar este conocimiento en un solo programa de investigación nombrando a

la Dra. Mascha Smit de la Unidad de Materiales, como coordinadora. Posteriormente, al consultar con investigadores de las demás Unidades, se decidió crear el programa multidisciplinario de Bioenergía, en el cual se abarcaría desde la materia prima (biomasa), la producción de biocombustibles (biodiesel, bioetanol y biohidrógeno), hasta sistemas de tercera generación considerados de alta eficiencia como son las celdas de combustible y tecnologías del hidrógeno. El establecimiento de este programa fue aprobado en abril de 2006 por el Órgano de Gobierno.

El programa inició en busca de expectativas de crecimiento económico a través de proyectos específicos en el tema, que proporcionaran los fondos necesarios para la implementación de laboratorios especializados en el área. Fueron inicialmente 12 investigadores participantes: Javier Mijangos Cortés y Alfonso Larqué Saavedra (Unidad de Recursos Naturales), Enrique Castaño de la Serna (Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas), Virginia Herrera Valencia y Blondy Canto Canché (Unidad de Biotecnología), Manuel Aguilar Vega, Luis Felipe Barahona Pérez, Gonzalo Canché Escamilla, Mascha Smit, Luis Carlos Ordoñez López y Liliana Alzate Gaviria (Unidad de Materiales), los dos últimos contratados específicamente para trabajar en dicho programa.

A partir de esa fecha, se inició entonces con la investigación en las áreas mencionadas con los laboratorios existentes, mientras que se prepararon propuestas de proyectos para poder conseguir el material y los equipos específicos para el grupo. Pronto hubo varios proyectos de Conacyt básico y de Fondos Mixtos, pero el gran avance se logró mediante un proyecto estratégico autorizado en el 2007, el cual permitió el equipamiento de los laboratorios de Bioenergía, donde anteriormente se encontraba ProPlanta.

De igual forma, el grupo se dio cuenta del potencial inminente de formación de recurso humano en esta nueva área, lo cual lo llevó a proponer la creación de la Maestría en Ciencias en Energía Renovable aceptado en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de Conacyt en enero de 2008 en el nivel de Fomento a la Calidad, y la primera generación de 15 alumnos fue aceptada para iniciar en septiembre de 2008.

En este momento, el Programa Institucional de Bioenergía se considera un programa en consolidación: cuenta con producción científica en términos de artículos arbitrados, presentaciones en congresos y alumnos desde Licenciatura hasta Doctorado. Durante el último año, se unieron más investigadores al Programa, como

son el Dr. Roger Orellana Lanza (URN), el Dr. Víctor M. Loyola Vargas (UBBMP) y la Dra. Galdy Hernández Zárate. De esta forma, se ha continuado consolidando cada vez más el programa de Bioenergía.

### **Líneas de investigación actuales y logros**

Actualmente el grupo está trabajando de forma integrada en una diversidad de proyectos, que van desde la materia prima hasta la aplicación final. Todos los proyectos cuentan con una alta participación de alumnos de diferentes niveles, y específicamente de la Maestría en Ciencias en Energía Renovable.

### **Biocombustibles**

Es importante resaltar que en el CICY fueron el Dr. Alfonso Larqué y el Ing. Abdo Magdub quienes vieron el potencial inminente que podría tener el uso del alcohol como opción de biocombustible. Con base en el proyecto que encontró y estudió la riqueza de azúcares presentes en la piña de plantas adultas de henequén, su extracción y fermentación para producir un destilado alcohólico para consumo humano, al que se llamó comercialmente *Sisal*, se planteó que también podría utilizarse como fuente de bioetanol para combustibles, al igual que el jugo de desecho del proceso de desfibrado.

Las primeras pruebas de un biocombustible en el CICY se realizaron con biodiesel a escala laboratorio a partir de aceites comerciales de origen vegetal, donde participaron los doctores Alfonso Larqué, Felipe Barahona y Javier Mijangos.

Con respecto a la materia prima para la producción de biodiesel, actualmente la Dra. Nancy Santana trabaja en procesos de propagación *in vitro* a través de embriogénesis somática de *Jatropha curcas*; de igual forma, el Dr. Víctor Loyola se encuentra trabajando en el estudio genético del mismo cultivo en busca de realizar transformación genética para la modificación de las rutas metabólicas que permitan obtener ácidos grasos específicos, buscando así el mejoramiento de la calidad del biodiesel. El Dr. Felipe Barahona lidera la producción y caracterización del biodiesel y se encuentra trabajando en la utilización de diferentes fuentes de aceites, entre los cuales, están el cebo de animales, aceites residuales, semillas de *jatropha*, *thetvetia* y microalgas. Asimismo, ha trabajado en conjunto con el Dr. Luis Carlos Ordóñez, en el uso de catalizadores heterogéneos con



**Figura 1.** Hongos para la degradación de material lignocelulósico.



**Figura 2.** Sistema de crecimiento del alga *Chlamydomonas reinhardtii*.

características ácidas para el proceso de la transesterificación de los aceites con el propósito de obtener un biodiesel de alta calidad sin requerimiento de lavado.

Respecto a la producción de bioetanol, la Dra. Blondy Canto cuenta con proyectos relacionados al uso de hongos en la degradación de materia lignocelulósica, buscando la sacarificación y posterior generación de bioetanol (Fig. 1). Es importante mencionar que la evaluación de las diferentes fuentes de biomasa lignocelulósica para su aplicación en biocombustibles de segunda generación la lleva a cabo el Dr. Gonzalo Canché, líder en esta área.

De igual forma, la Dra. Liliana Alzate trabaja en la gestión integral de residuos sólidos y líquidos tanto urbanos como rurales, específicamente en la recuperación de energía. Por ello, actualmente trabaja en la generación de combustibles renovables como el  $H_2$  y el  $CH_4$ , así como en sistemas de celdas de combustible microbianas empleadas para la depuración de aguas residuales y generación de electricidad.

La Dra. Virginia Herrera trabaja con microalgas verdes, entre ellas *Chlamydomonas reinhardtii*, las cuales son de interés para la producción tanto de hidrógeno como de biodiesel (Fig. 2); de igual forma, trabaja la manipulación molecular de genes de interés en la producción de biocombustibles.

La línea de investigación de producción de biomasa para biocombustible la integran el Dr. Javier Mijangos, el Dr. Roger Orellana y el Dr. Alfonso Larqué, cuyos trabajos iniciaron y conti-

núan con la búsqueda de especies tanto silvestres como cultivadas con alto potencial en la península de Yucatán.



**Figura 3.** Sistema de producción de catalizadores para celdas de combustible.

### Celdas de combustible

En el área de las celdas de combustible, se trabaja principalmente con celdas de combustible tipo PEM (con electrolito de membrana polimérica), utilizando hidrógeno, etanol y materia orgánica como combustible (Fig. 3). Estos sistemas electroquímicos tienen alta eficiencia en la conversión de la energía química del combustible en energía eléctrica útil. El enfoque principal ha sido el desarrollo de catalizadores. Por ello, el Dr. Luis Carlos Ordóñez trabaja con catalizadores bi- y trimetálicos, basados en metales como son platino, rutenio y molibdenio. Éstos han mostrado tener alta eficiencia para la oxidación de hidrógeno con menor sensibilidad para el envenenamiento por monóxido de carbono, lo cual afecta a los catalizadores de platino. Los mismos catalizadores tienen

actividad electrocatalítica para la oxidación del etanol, la cual está siendo investigada con más detalle actualmente.

La Dra. Mascha Smit está trabajando principalmente con catalizadores basados en polímeros electroconductores, los cuales han mostrado tener una actividad electrocatalítica para la reducción del oxígeno, especialmente si se modifican con metales como cobalto. También se cuenta con un proyecto en el que se está trabajando con el desarrollo de electrodos poliméricos para las celdas de combustible de etanol, utilizando enzimas, las cuales funcionan como biocatalizadores, inmovilizadas en electrodos poliméricos.

Finalmente, se ha trabajado en el desarrollo de stacks (pilas) de celdas de combustible, del cual ya se cuenta con un diseño propio y se está determinando el desempeño. Asimismo, en otro proyecto de desarrollo de un stack se juntan las dos líneas de investigación, ya que se pretende generar biohidrógeno a partir de residuos orgánicos para utilizarlo como combustible en una celda de combustible tipo PEM.

### **Futuro**

El Programa Institucional de Bioenergía del CICY contribuyó positivamente a la formación de un grupo interdisciplinario a nivel institucional, el cual fue base de la nueva Maestría en Ciencias en Energía Renovable del CICY perteneciente al PNPC, permitiéndole consolidar la formación de recursos humanos de alto nivel y la captación de financiamiento externo para desarrollar investigación de ciencia básica y tecnología aplicada a los diversos temas de relevancia actual dentro de la políticas mundiales, nacionales y locales respecto a las energías renovables.

La oportunidad en la atención de un tema de la relevancia de las energías renovables, el crecimiento del equipo y el incremento de los proyectos han sido elementos importantes para el desarrollo y la consolidación del Programa Institucional de Bioenergía del CICY, a tal grado que, en la reunión de octubre de 2009 del Órgano de Gobierno, fue aprobada la nueva Unidad de Energía Renovable del CICY, a partir de enero de 2010.





## **TERCERA PARTE**



### **Sección V: El contacto con la sociedad**



## **Vivero de Plantas Nativas del Jardín Botánico Regional del CICY**

*Sigfredo Escalante-Rebolledo*

Desde sus primeros años, el Jardín Botánico Regional (JBR) inició la propagación de algunas especies amenazadas de la Península a través de tesis de licenciatura dirigidas por Roger Orellana.

En septiembre de 1988, luego del paso del huracán Gilberto, la Secretaría de Ecología estatal solicitó al JBR del CICY la producción de plantas nativas para reforestar áreas urbanas y rurales devastadas por el meteoro.

En los primeros tres años, bajo la responsabilidad de Patricia Colunga y Sigfredo Escalante, se construyeron semilleros y sombreaderos, se produjeron miles de plantas pactadas, e incluso, excedentes que permitieron iniciar la venta al público y se estableció un protocolo metodológico experimental a fin de definir condiciones adecuadas para la germinación de las especies, en condiciones de campo fácilmente adoptables por productores no especializados. En 1991, el Gobierno del Estado cedió 1.2 hectáreas para el crecimiento del JBR, lo que permitió cuadruplicar las dimensiones del vivero y en 1992, Roger Orellana estableció un protocolo para condiciones de ambiente controlado. Con estas acciones se consolidó lo que desde entonces llamamos el Vivero de Plantas Nativas (VPN) del JBR.

Los siguientes siete años, el VPN se desarrolló de manera independiente al JBR bajo la dirección de Rafael Durán. En este periodo, buena parte de la producción se realizó en el marco del Programa Nacional de Reforestación, se publicaron los Manuales I y II de Propagación de Plantas Nativas que han tenido buena demanda y se realizó una tesis de licenciatura sobre la propagación de tres especies en peligro de extinción. Los siguientes tres años, quedó adscrito a la Dirección General, a cargo de Felipe González.

En el 2003, el VPN regresó a su origen: el JBR. En estos últimos años, pasó de existencias comprometidas a existencias propiedad del Centro, se incrementó la diversidad de especies, la calidad de la planta ofrecida y se mejoró el proceso contable y de atención al usuario.

El VPN y el JBR se alimentan recíprocamente: las colecciones del Jardín son plantas madre que proporcionan buena parte del material que se propaga y el Vivero regresa plantas selectas a las colecciones. El VPN es la colección de mayor intensidad y esfuerzo de manejo, a la par de ser la de mayor potencial de rendir frutos en términos de conservación. Por él ingresan los materiales colectados, se procesan, siembran, aclimatan y crecen hasta obtener plantas de buena calidad. Éstas son utilizadas, en cantidades relativamente bajas, en el apoyo a proyectos de investigación o de tesis del Centro y en el mantenimiento y desarrollo de colecciones del JBR. La mayoría se maneja a través de los usuarios, en diversas actividades como la jardinería doméstica, la reforestación de calles y parques municipales, la recuperación ecológica de sitios degradados, la producción agroforestal, la mitigación o compensación de impactos ambientales y el desarrollo de parques o jardines especializados afines a un jardín botánico. Refinando la colecta y documentación, reserva gran potencial para acciones de conservación directas *in situ*, como restauración de hábitats, reintroducción e incremento de poblaciones de especies amenazadas.

El VPN es pionero en la propagación de especies silvestres de la flora peninsular para programas locales de reforestación, conservación y recuperación ecológica y ha promovido exitosamente el uso local de las mismas. En su funcionamiento se cumplen las normas éticas, técnicas y legales para la producción y venta de plantas. Actualmente se ofrece una importante diversidad de plantas como palmeras, árboles ornamentales, frutales, plantas de selva, de duna y acuáticas.

Enmarcado en la misión del JBR, el VPN tiene como objetivo promover el uso y la conservación de la flora nativa de la península de Yucatán a través de su estudio hortícola, propagación y distribución. Para lograrlo se abordan como objetivos particulares: definir técnicas de propagación de especies silvestres nativas cuya reproducción y cultivo *ex situ* se desconocen; apoyar actividades regionales cuya orientación es la conservación de la biodiversidad o el incremento del nivel de bienestar; contar con plantas para

cubrir las necesidades del JBR y del CICY, y financiar parcialmente las actividades sustantivas del JBR.

El método de propagación que se utiliza tanto en el VPN como para acceder plantas al JBR es por semillas, y ocasionalmente, por técnicas asexuales. Primero se realiza una selección de especies de acuerdo a prioridades establecidas, esencialmente aquellas consideradas en alguna categoría de riesgo de extinción o con valor para los fines señalados. Si sólo se desea producir plantas, se siembra en condiciones de campo en semilleros con tierra local bien cribada, a una profundidad de una a dos veces el diámetro de las semillas y se aplican riegos de gota fina de modo que el sustrato esté siempre húmedo.

Aunque en la práctica no siempre es posible, se procura determinar la viabilidad mediante pruebas de germinación, montando experimentos simples o factoriales con el mismo lote de semillas, sembrando en charolas cuatro repeticiones del mismo número de semillas por tratamiento, en un sustrato estándar de tierra y arena 2:1. Se toma registro periódico de semillas germinadas hasta considerar que el proceso ha concluido y se realiza el análisis estadístico acorde al diseño experimental para así obtener y ofrecer recomendaciones fundamentadas.

En el diseño de los experimentos, algunas de las preguntas que como jardín botánico interesa responder son: ¿cuál es la viabilidad de las semillas?, en caso de ser baja, ¿cómo incrementarla?, ¿es posible secar y almacenar las semillas sin disminuir su viabilidad?, ¿por cuánto tiempo?

Cuando se conocen o sospechan bajos porcentajes de germinación, se aplican tratamientos para favorecerla, tales como escarificación manual, remojo en agua, o la adición de nitrato de potasio al sustrato.

Una vez concluida la germinación se realiza cuanto antes el trasplante a bolsas de polietileno, con aplicación de sombra parcial y riego intensivo y se evalúa el porcentaje de supervivencia al trasplante; se disminuyen paulatinamente riego y sombra para favorecer la lignificación de los tejidos; conforme las plantas crecen, se efectúa un trasvase a recipientes mayores para obtener plantas de mayor talla y calidad, las que son mantenidas con riego, deshierbe, control de enraizamiento y control fitosanitario cultural sin uso de agroquímicos. La figura 1 sintetiza la filosofía y métodos del VPN.

El VPN es un componente axial en el logro de la Misión del JBR. Además de facilitar el desarrollo de colecciones y el autofinanciamiento parcial del JBR, provee plantas de una gran diversidad de especies silvestres útiles, para emplearlas en acciones relacionadas con la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible, por ejemplo:

*Reforestación.* Diversas instancias gubernamentales, como la Conafor, la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de Yucatán o el Ayuntamiento de Mérida, recurren al VPN para producir, donar o vender plantas nativas para programas de reforestación locales.

*Fomento hortícola.* Después de casi dos décadas se ha incidido favorablemente en que los desarrolladores locales usen plantas nativas y que los viveristas propaguen por semilla especies que anteriormente eran extraídas del ambiente silvestre.

*Capacitación.* Una labor importante ha sido la capacitación de técnicos y productores, impartiendo en diversas ocasiones, con ligeras variantes según el interés de los demandantes, el curso “propagación de plantas nativas y manejo de viveros” a personal de Secol, Conafor, Ayuntamiento de Mérida, SICEY, Niños y Crías, Jardín Botánico de Ecosur y del Sistema Producto Ornamentales, entre otros.

*Fomento de áreas verdes.* El JBR ha participado en el desarrollo de áreas verdes afines a su misión, como el Jardín Botánico de Xcaret, Q. Roo o el de Balankanche, Yuc., y particularmente gracias al VPN, en varios parques de Mérida, como el Recreativo de Oriente, el de Jardines de Mérida, el Acuaparque, y actualmente, el Botánico de Anicabil.

*Investigación y formación de estudiantes.* Se ha incrementado la demanda y la atención de investigadores y estudiantes por material vivo propagado y documentado.

*Publicaciones.* Con base en los trabajos del vivero se han publicado dos artículos, dos libros, tres informes técnicos y tres tesis de licenciatura, además de que frecuentemente se participa en entrevistas con diversos medios de comunicación masiva.

*Ventas.* Un incremento sostenido de los ingresos por venta de plantas ha permitido fortalecer la plantilla, el equipamiento, la infraestructura y resolver problemas operativos.

*Donaciones.* Por muchos años se donaron miles de plantas para fomentar el uso de flora nativa; aún existe el esquema de donación pero con restricciones y compromiso del beneficiario.

*Nuevas colecciones.* Después de años de colecta y propagación orientadas, es relativamente fácil hacer una colección; la más reciente en el JBR, “plantas endémicas de la península de Yucatán”, se formó con material existente en el VPN.

El VPN es la mejor herramienta de que disponemos para el cumplimiento de la misión del JBR. Para incrementar su impacto es necesario establecer políticas como:

Producción programada en función de demandas concretas de programas y proyectos de reforestación, recuperación ecológica, producción agroforestal, restauración o mitigación de impactos ambientales.

Producción programada para ventas en función de demanda local de especies.

La gestión de proyectos que permitan la generación de conocimiento, esto es, el estudio formal de técnicas de propagación, almacenamiento de semillas y cultivo *ex situ*, de especies nativas silvestres.

A lo largo de 20 años, los académicos responsables del VPN han sido Patricia Colunga, Sigfredo Escalante, Rafael Durán, Roger Orellana y Felipe González. También han participado Rafael Gutiérrez, Paulino Simá, Martha Méndez, Alfredo Dorantes, Gabriel Dzib,

Luis Simá y Wilberth Canché.



**Figura 1.** Métodos del VPN en siete cuadros: 1) colecta; 2) procesamiento; 3) siembra de producción; 4) siembra experimental; 5) crecimiento; 6) transporte, y 7) arbolado.





## Historia del Laboratorio de Metrología CICY

*Donny V. Ponce Marbán y Javier E. Escalante Estrella*

Con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte en enero de 1994, la apertura comercial comenzó a exigir cambios en los procesos productivos de las empresas mexicanas. La metrología y la calidad cobraron relevancia y se emprendieron diversas acciones en todo el país.

En 1996, a raíz de la iniciativa publicada para el establecimiento de un laboratorio de Metrología en el CICY, se dio marcha a las actividades para hacerlo posible: en abril se integró al personal, los ingenieros Javier Enrique Escalante Estrella, José Ricardo Pech Poot y Julio César Castro Vázquez, quienes comenzaron a capacitarse en las instalaciones del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (Cidesi) —en la ciudad de Querétaro, a través del Diplomado en Metrología de Masa, Volumen, Temperatura y Dimensional—, y en mayo, se empezó la edificación del laboratorio, siguiendo las rigurosas recomendaciones del Centro Nacional de Metrología (Cenam), las cuales se adecuaron a las condiciones ambientales del sureste del país, de tal forma que en su diseño y construcción se consideraron especificaciones para vibraciones, aislamiento térmico, suministro y fluctuaciones en la energía eléctrica, suministro de un sistema de aire con flujo laminar, temperatura y humedad controladas.

La formación inicial dio sus frutos, pues en febrero de 1997, el Laboratorio de Metrología empezó a participar en las reuniones mensuales del Comité de Masa y Volumen, con José Pech y Javier Escalante, respectivamente, y en julio, el CICY designó al Ing. Manuel de Jesús Álvarez Díaz (q. e. p. d.) para ocupar la jefatura del Laboratorio, cuyo edificio estaba en la etapa final de construcción.

La llegada del Ing. Álvarez representó muchos avances para el Laboratorio: concluir con la implementación del Manual de Calidad y de los procedimientos administrativos y técnicos, así como reorganizar y replantear las metas y objetivos iniciales del Labora-

torio, conforme a la situación que en ese momento se vivía: recorte presupuestal y necesidad de generar recursos propios cuanto antes, de tal suerte que, el 28 de noviembre de 1997 fue inaugurado el Laboratorio de Metrología, abriendo con ello una nueva etapa en la vinculación del CICY con la industria, lo que sin duda representó una enorme posibilidad para contribuir al desarrollo del sector en la Península y un gran compromiso con la promoción de la calidad y la Metrología en la región.

En 1998, luego de que se recibieron calibrados por el Cenam los instrumentos y patrones de referencia, el Laboratorio de Metrología empezó a brindar servicios de calibración, principalmente a instrumentos del propio Centro, pues era indispensable que se probaran los procedimientos de calibración y que el personal adquiriera experiencia, a fin de afinar detalles. Con ello en mente, pero sin perder de vista el objetivo primordial: generar recursos propios mediante servicios confiables acreditados, se calibraron las balanzas de la entonces llamada Unidad de Biología Experimental del CICY (hoy, Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas). De inmediato, ante la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía, se iniciaron los trámites para acreditar al Laboratorio, pues las empresas requerían los servicios de calibración con el soporte de la acreditación del Laboratorio, ya que de esta manera podían generar productos confiables y aceptados internacionalmente. Posteriormente, se extendió el servicio a clientes externos que sólo requerían la trazabilidad de sus instrumentos, comenzando así la promoción del Laboratorio y su labor de contribuir al desarrollo de la cultura metrológica en el sureste mexicano. El primer cliente del Laboratorio fue la empresa yucateca Industria Salinera, a la cual se le brindó el servicio de calibración de sus instrumentos para pesar, en sus plantas de Las Coloradas y Tizimín. La copia de ese primer cheque todavía cuelga perfectamente enmarcada en las paredes de la Coordinación del Laboratorio de Metrología, como recuerdo del inicio de su generación de recursos propios, a la que en ese entonces contribuyeron clientes como Cervecería Yucateca, Comisión Federal de Electricidad, Cementos Maya, Hi-Tec y otros.

Paralelamente, el Laboratorio hizo frente a su compromiso como promotor de la metrología y la calidad, participando en actividades de difusión de dichos conceptos (mesas panel, seminarios y visitas); dando asesorías para el establecimiento de un laboratorio de pruebas en la Facultad de Ingeniería Civil de la UADY; con-

tinuando la preparación de su personal, así como reuniéndose y colaborando con la Red de Laboratorios Secundarios del Sistema SEP/ Conacyt, cuyo logo, por cierto, fue definido ese año, y de entre todas las propuestas, se eligió la presentada por el CICY.

En 1999, el Laboratorio incrementó considerablemente sus actividades y servicios, y organizó, además, el V Seminario Nacional de Metrología, contando con la participación, entre otros, de los responsables de los laboratorios de la Red, Entidad Mexicana de Acreditación (ema) y el Cenam. En julio de ese año, los esfuerzos continuos del Laboratorio se vieron recompensados con sus primeras acreditaciones por parte de la ema: Masa (M-50) y Volumen (V-12). Cabe aclarar que, aunque los trámites de acreditación del Laboratorio se iniciaron en 1998 con la Dirección General de Normas, al crearse ema a principios de 1999, fue la instancia pertinente que concluyó dicho proceso y ha seguido al frente de las acreditaciones.

El año 2000 fue tiempo para que el Laboratorio iniciara su proceso de consolidación como formador, pues en febrero obtuvo el registro por parte la Delegación Yucatán de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social para el reconocimiento ante esta dependencia de los cursos que imparte, mismos que se incrementaron considerablemente, tanto en las instalaciones del CICY como en las de diversos clientes, sumándose a ello diversas asesorías que repercutieron en el incremento de calibraciones.

En 2001, la contratación de la Q.I. Rosario del Alma Belman Garrido en enero (en sustitución de Julio César Castro) facilitó al Laboratorio su participación en la elaboración de tres Normas Oficiales Mexicanas ISO (9000:2000, 9001:2000 y 9004:2000), relacionadas con Sistemas de Gestión de la Calidad, así como para impartir el Diplomado en Metrología, el cual no ha dejado de impartirse desde entonces cada año. Esta incorporación, en su momento, fue clave para conseguir la acreditación de ema en la magnitud de Temperatura (T-62) en diciembre de 2002.

A la par del incremento en los servicios de calibración (que se vio incrementado en 2002 y 2003 con los contratos con el grupo de cinco plantas de Coca-Cola y con Pemex), cursos impartidos, capacitación de su personal, asesorías y contratación de personal eventual por honorarios para apoyar el trabajo administrativo y de los cuatro ingenieros, el Laboratorio elaboró diversos manuales técnicos y de procedimientos en correspondencia con las normas específicas aplicables, y fue aumentando su participación

en diversos grupos de trabajo, pues además de la Red de Laboratorios de los Centros SEP/ Conacyt, la Red MESURA Interinstitucional (del Cenam) y comités de evaluación de ema, se sumó al Grupo de Trabajo Península de Yucatán del Comité Técnico Nacional de Normalización de Sistemas de Calidad (perteneciente al Instituto Mexicano de Normalización y Certificación), entre otras acciones para reforzar su compromiso con la promoción de la cultura metrológica y de la calidad.

Para el 2004, el Laboratorio ya era parte de la Unidad de Servicios —junto con el recién creado Laboratorio GeMBio y la extinta ProPlanta—, y en adición a su crecimiento sostenido, trabajó en un Manual de Calidad y procedimientos administrativos comunes a ambos laboratorios, dentro del contexto de la Unidad de Servicios y acorde al cumplimiento de la normatividad interna y externa vigentes. En el mismo sentido, apoyó a GeMBio en la capacitación de su personal en temas metrológicos y le asesoró en la preparación e implementación de su Sistema de Calidad, así como en la forma de conducir su proceso de acreditación; también, apoyó a ProPlanta en la elaboración de su primer Manual de Procedimientos Administrativos.

En 2005, el CICY consideró conveniente reforzar el eje estratégico de vinculación y los objetivos de los servicios. En febrero se integró la Coordinación de Vinculación, a cargo del Ing. Abdo Jesús Magdub Méndez, y en ella quedaron los laboratorios de Metrología, GeMBio y ProPlanta para cubrir las demandas específicas de servicios. En octubre de ese mismo año, el Laboratorio fue anfitrión del XX Congreso Nacional de Metrología, Normalización y Certificación de la Asociación Mexicana de Metrología. Asimismo, José Ricardo Pech dejó el Laboratorio y fue sustituido por el Lic. Sergio Pacheco Montoya, quien estuvo poco tiempo. En los primeros meses de 2006, fue transferido del área de Instrumentación del CICY el Ing. Julio Alejandro Lugo Jiménez para completar el equipo de Metrología, con cuya incorporación se pudo dar el servicio en mantenimiento y presión (aunque en septiembre de 2009 regresó al área de donde provino). En marzo de 2006, el CICY fue anfitrión, a través del Laboratorio de Metrología, del Curso-Taller IWA 2 (NMX-CC-023-IMNC-2004), foro sobre la aplicación de normas ISO 9001:2000 en organizaciones educativas, con la asistencia de más de 230 personas de instituciones de educación superior de la Península que sobrellenaron ambos auditorios.

El 6 de junio de 2007, en un lamentable accidente carretero rumbo a un curso que se efectuaría en Cancún, falleció Manuel Álvarez, quien seguía al frente de la jefatura de Metrología. Fue entonces que, el 28 junio, el CICY designó al Dr. Donny Victor Ponce Marbán como Coordinador de Metrología, aprovechando su formación de economista y científico, así como el conocimiento que tenía del Laboratorio por el estudio de costos que realizaba. De esta manera, y bajo nuevas necesidades de autosuficiencia económica de las áreas de servicio, se puso en marcha un plan estratégico para el desarrollo del Laboratorio, el cual, en primera instancia, consistió en determinar los costos de operación e implementar una política de precios más competitiva. También se consideró darle continuidad al proceso de acreditación del área de Presión, bajo la responsabilidad de Julio Lugo, y se encontró oportuno acreditar las magnitudes de Flujo y Óptica, a cargo de Javier Escalante y Alma Belman, respectivamente. El nuevo liderazgo y la nueva visión de negocios le permitieron al Laboratorio no sólo la continuidad de su labor, sino una mejora notable en sus resultados, rebasando las metas, y en paralelo, asesoraba al CEA en su proceso de acreditación de su Laboratorio de Análisis de Calidad del Agua.

Por otro lado, buscando alianzas estratégicas que permitieran la generación de sinergias positivas en cuanto a la atención metrología a la industria, en febrero de 2008 el Laboratorio fue organizador del Foro de la Red MESURA “Perspectivas y Retos de los Sectores Alimentos, Plásticos, Construcción y Químico del Sureste Mexicano”. En esa misma línea, en mayo de 2008, fue coordinador del evento “ema en CICY”, donde se firmó el Pacto Nacional de Acreditación en el estado de Yucatán, al que se adhirieron varias instituciones y empresas, y nuestros laboratorios acreditados (Metrología y GeMBio) renovaron su compromiso como organismos evaluadores de la conformidad.

A través del tiempo, el Laboratorio de Metrología del CICY ha mantenido y ampliado sus acreditaciones, cumpliendo satisfactoriamente con los procesos de renovación periódicos que en cada caso han correspondido. En octubre de 2008, bajo la nueva edición de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 —que tiene más requisitos y apartados acordes a la norma NMX-CC-9001-IMNC-2000—, renovó acreditaciones y añadió tres magnitudes más a sus servicios acreditados: Óptica (OP-13), Flujo de líquidos (FL-21) y Presión (P-86). Además, en múltiples ocasiones a lo largo de los años ha obtenido por parte de sus clientes el “Reconocimiento

como proveedor confiable”, por la calidad de sus servicios prestados. Entre sus clientes actuales se encuentran Aguakan, Bepensa Industrial (Coca-Cola, MetaPlus, Kimpen), Secretaría de Salud del Estado de Yucatán, Pemex, Laboratorio Central Regional de Mérida, Comisión Federal de Electricidad, Pepsi y muchos otros.

Hoy más que nunca, consciente del impacto de su labor como organismo de evaluación de la conformidad acreditado, el Laboratorio de Metrología del CICY renueva su compromiso cada día, con cada servicio que realiza, cada asesoría que brinda, cada curso que imparte, porque un compromiso renovado a diario se convierte en una forma de vida, y esta manera de actuación cotidiana es el modo en que encara su responsabilidad con el CICY y con México.

## El Grupo de Estudios Moleculares Aplicados a la Biología

*Dra. Daisy de la C. Pérez-Brito*

A principio del año 2001, el Dr. Alfonso Larqué, entonces director general de CICY, participó en la autoría del libro *Biotecnología Moderna para el desarrollo de México en el Siglo XXI. Retos y Oportunidades*, y a partir de esa experiencia se planteó la idea de crear en este Centro, un laboratorio que diera servicios de técnicas moleculares de avanzada en el área agrícola, a un costo razonable, a empresas privadas nacionales o extranjeras, instituciones de educación superior, centros de investigación, dependencias de gobierno y organismos no gubernamentales que necesitaran estudios de este tipo y que no contaran con la infraestructura y el personal calificado para realizarlos. Dichos estudios estarían enfocados en el desarrollo de protocolos de biología molecular, el mejoramiento genético con fines múltiples (rendimiento, resistencia a estreses bióticos y abióticos, etc.) y la caracterización de la biodiversidad vegetal. De esta manera, inició en noviembre de 2001, el Laboratorio de Marcadores Moleculares, con la adquisición de equipos y materiales así como con la formación del equipo de profesionales que trabajaría en éste, integrado por el Lic. Q. Raúl Tapia Tussell, el Candidato a Doctor Felipe Sánchez Teyer, la Candidata a Maestra en Ciencias Blanca Marina Vera Ku y la Dra. Daisy Pérez Brito como coordinadora del mismo. Posteriormente, en septiembre de 2002, este laboratorio fue aprobado en el Órgano de Gobierno.

En los siguientes dos años se trabajó en las líneas planteadas y como resultados se caracterizaron molecularmente diferentes clonas de henequén, variedades de cocotero y clonas de *Tage* por encargo de diferentes investigadores del Centro. También se obtuvo la huella genética de dos clonas de *Agave tequilana* a solicitud de la Empresa Tequila Herradura, S.A. de C.V. y se inició un proyecto en colaboración con la Dra. Patricia Lappe Olivera,

del Instituto de Biología de la UNAM, para la identificación y caracterización molecular de más de 250 especies de levaduras y hongos aislados del mosto del henequén. En este período, el Laboratorio cambió de nombre primero a BioGeM y luego se quedó con el definitivo de GeMBio (Grupo de Estudios Moleculares aplicados a la Biología).

En septiembre de 2003, el Dr. Juan Pablo Martínez Soriano, que entonces fungía como Director del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, adscrito a la Dirección General de Sanidad Vegetal de la Sagarpa, visitó el CICY y planteó la idea de que GeMBio se integrara a la red de laboratorios fitosanitarios aprobados, establecida por esa dependencia, para coadyuvar a la conservación de la sanidad vegetal de México. Esta propuesta se fundamentó principalmente en el hecho de que en toda la región sureste del país no existía ningún laboratorio que ofreciera este tipo de servicios, por lo que los productores tenían que enviar sus muestras para análisis al centro o al norte de la República. También se consideró que ya se contaba con la infraestructura del laboratorio y que el CICY tenía experiencia acumulada en estudios



Figura 1. Análisis de Virus por Elisa en el laboratorio.

fitopatológicos. Por ello, en 2004 se dieron los primeros pasos para la transición del laboratorio GeMBio a estas nuevas actividades. Debido a que para esas fechas sólo quedaban dos integrantes en GeMBio (Raúl Tapia y Daisy Pérez) se incorporó a la plantilla del mismo el M.C. Andrés Quijano Ramayo, con formación de fitopatólogo y gran experiencia en el área.

Como era necesario implementar un sistema de gestión de la calidad para acreditar al laboratorio ante la Entidad Mexicana de Acreditación (ema), requisito indispensable para brindar los servicios y obtener la aprobación de Sagarpa, se requirió el desarrollo y la ejecución de diversos procedimientos administrativos y técnicos. Sin embargo, no se contaba con la experiencia en este aspecto, por lo que el Ing. Manuel Álvarez (q. e. p. d.), entonces Jefe de Laboratorio de Metrología, y la Ing. Alma Belman Garrido, responsable de calidad del mismo, ofrecieron su asesoría basada en la experiencia de la implementación de su sistema de calidad. Des-



pués de algunos meses de arduo trabajo, en marzo de 2006 se obtuvieron la acreditación y la aprobación para el área de Virología. La inauguración oficial de GeMBio fue el 14 de julio del mismo año y asistieron, entre otras personalidades, el entonces Gobernador del Estado de Yucatán, C. Patricio Patrón Laviada.

La acreditación inicial en la materia de virología se hizo con el fin de atender la demanda de los productores de cítricos para la detección del Citrus Tristeza Virus como parte de la campaña cuarentenaria establecida por Sanidad Vegetal. Sin embargo, pronto acudieron a GeMBio otros productores, principalmente papayeros y horticultores, no sólo solicitando la detección de virus sino también de bacterias y hongos. A mediados de 2006 se incorporó al laboratorio el IQI. Alberto Cortés Velázquez, que vino a apoyar todas las actividades de las áreas de Virología y de Biología Molecular, y en el 2007 y 2008 completaron el grupo los Ing. Rodolfo Martín Mex y Ángel Nexticapan Garcéz, ambos parasitólogos y con amplia experiencia en el manejo integrado de enfermedades. Estas acciones redondearon el espectro de servicios de GeMBio, ya que una de las principales demandas de los productores era, además del diagnóstico, recomendaciones para el control de plagas y enfermedades. En junio de 2008 se obtuvo la acreditación para el área de Bacteriología, y la aprobación por Sagarpa para esta materia, en enero de 2009. En la actualidad, GeMBio es el único laboratorio en la Península de Yucatán miembro de la ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*) en la rama de sanidad vegetal, contando con tres signatarios acreditados ante ema y cuatro aprobados por Sagarpa. Además de los servicios de detección en las materias aprobadas, GeMBio ofrece el diagnóstico de hongos, nematodos, insectos y organismos genéticamente modificados, pruebas de efectividad de plaguicidas *in vitro* y asesoría de manejo fitosanitario integrado.

En agosto de 2006, por petición de la Secretaría de Desarrollo Social, se impartió el Curso teórico-práctico “Detección de fitopatógenos por métodos moleculares y serológicos” para cinco coordinadores y un jefe de departamento. A partir de esta experiencia se constató la necesidad de capacitación de los técnicos, extensionistas y productores involucrados con el quehacer de la fitosanidad en la región. Considerando que generalmente este tipo de cursos sólo se ofrecen en el centro de México, GeMBio organizó un Diplomado en Fitosanidad, que se ha impartido cada año desde 2007. También se han organizado cursos sobre técnicas mole-

culares para detección de diferentes patógenos y de manejo integrado de hortalizas, a los cuales han asistido profesionistas no sólo de esta área geográfica sino de diferentes partes de México. En



2008, a petición del Ministerio de Agricultura de República Dominicana, se impartieron tres entrenamientos en técnicas moleculares a once investigadores de diferentes centros de ese país.

**Figura 2.** Curso sobre técnicas moleculares para la detección de diferentes patógenos (2002).

Además de los servicios que presta GeMBio y derivados de interrogantes que surgen en la resolución de los mismos, los integrantes del grupo han abordado diferentes estudios fitopatológicos relacionados con nuevos patógenos que afectan los cultivos de la región. De estas investigaciones se han derivado publicaciones científicas y se ha contribuido a solucionar problemas de gran impacto en la agricultura. Como resultado, el laboratorio ha ido aumentando su presencia y prestigio no sólo en el estado de Yucatán, sino también a nivel nacional e internacional, interaccionando con pequeños y medianos productores, con los Sistemas Pro-

ducto de papaya, chile y ornamentales, con las Fundaciones Produce de Yucatán y Quintana Roo, así como con empresas agrícolas de gran envergadura por su producción y niveles de exportación de frutos y centros de investigación.



**Figura 3.** Andrés y Ángel brindando asesoría de manejo fitosanitario.

GeMBio se propone continuar su trabajo en el área de la fitopatología aplicada, para contribuir a mantener la sanidad vegetal de la región y de México, además, usar al máximo sus capacidades para no sólo servir como un laboratorio de referencia en técnicas moleculares aplicadas a la detección y estudio de los fitopatógenos, sino también contribuir a la formación de recursos humanos en este campo tan importante y necesario para la economía del país.

## El programa de Educación Ambiental del CICY

*Verónica Franco Toriz*

*El comienzo es la parte más importante de toda tarea.*  
Platón

Este apartado intenta presentar un breve recorte crítico de los principales objetivos y acciones, logros y limitaciones, de este trayecto educativo emprendido en el Jardín Botánico Regional *Xiitbal neek'* (JBR) hace ya más de dos décadas. A lo largo de estos años, múltiples y enriquecedoras han sido las experiencias que nos han permitido acercarnos a la comunidad meridana, compartiendo con nuestros visitantes el inusitado asombro de quien se adentra por primera vez en una selva, el gozo de quien descubre la belleza de la textura de los troncos, el salto de una ardilla, la mirada incrédula ante la explosión morada y lila de los nenúfares del estanque o el bullicio encantador de los habitantes emplumados del Jardín Botánico. Esta isla verde en el norte de la ciudad, este remanso lleno de tranquilidad y vida, este espacio único, no sólo ha permitido el desarrollo de nuestras colecciones de plantas y seres vivos asociados, sino que también nos ha permitido ser el espacio ideal para relacionarnos con la sociedad. En 1987, la Dra. Patricia Colunga impulsó las primeras acciones educativas. Con el apoyo de la Biól. Nancy Ayora se dio inicio a las visitas guiadas y las pláticas escolares, en las cuales se compartía el conocimiento científico y tradicional que resultaba de las investigaciones sobre las plantas de la región. En 1989 se estructuró el programa “Difusión del Jardín Botánico y Apoyo a la Enseñanza” (Colunga, 1989), ampliando sus objetivos para difundir en los diferentes niveles educativos la riqueza y valor de las especies nativas, y para ofrecer a los docentes de todos los niveles el potencial del JBR como un medio didáctico en la enseñanza de las ciencias naturales. De esta forma, surgió este programa educativo de entre otros pioneros en la ciudad y en el estado. En ese entonces, no se contempló un programa de educación

ambiental (EA) como tal, toda vez que esta disciplina despegó oficialmente en México —al igual que el JBR— en el año de 1983<sup>1</sup> (González, 1983). El programa de educación y difusión contó con financiamientos sucesivos de Conacyt, la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado y CULTUR, lo que permitió entre 1987 y 1992 contar con una nutrida colaboración de prácticamente todos los investigadores, técnicos, estudiantes, jardineros y personal de apoyo del entonces Departamento de Recursos Naturales. Es preciso mencionar como coordinadores en distintos momentos y entusiastas impulsores de las actividades de Educación Ambiental a Roger Orellana, Sigfredo Escalante, Ingrid Olmsted, y como colaboradores a Nancy Ayora, Goreti Campos, Tomás González, Enrique Estrada, José Arellano, Daniel Zizumbo, José Antonio González, Paulino Simá, Martha Méndez, Rafael Durán, Rafael Gutiérrez, Mauro Gómez, Ernestina Piña, Wilbert Canché, Lamberto Sulub, Cherite González, Verónica García y otras personas a quienes posiblemente omite de manera involuntaria. El trabajo colaborativo de este proyecto se reflejó en una amplia gama de productos, entre los que destacan las visitas guiadas.

Las visitas guiadas han sido y son a la fecha la principal actividad educativa del JBR. Los recorridos escolares han permitido una vinculación directa y cada vez de mayor demanda del sector educativo en particular y de la sociedad en general. A la fecha se atienden grupos escolares desde preescolar hasta licenciatura y posgrado. Inicialmente se ofrecían recorridos guiados dos veces por semana. En 1990 el número de visitantes superó los 1,500. En 1994 y 1996 se registraron más de tres mil, debido a que el programa de educación contaba con varias personas. En los últimos años se estima que en promedio se reciben alrededor de 2,400 visitantes al año. En total calculamos que en estos 22 años se han atendido a más de 50 mil visitantes, cantidad susceptible de incrementarse sin menoscabo de la calidad de la atención de las visitas, siempre y cuando se contara con la infraestructura adecuada y con personal adscrito al programa de EA.

Durante varios años las visitas guiadas se centraron en la transmisión de información y de conceptos biológicos, botánicos y ecológicos, prevaleciendo entonces un enfoque academicista. Ayora, N. (1991) hace observaciones interesantes en cuanto a la percepción de los grupos visitantes y la necesidad de hacer propues-

---

<sup>1</sup> Creación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE).

tas menos conductistas y de preparar las pláticas que se imparten en las visitas de acuerdo al nivel académico de los visitantes.

En 1992, la autora de este texto se reincorporó al JBR. A partir de 1995 ha sido la responsable del programa educativo. En ese año, inició un proceso de profesionalización en el ámbito de la EA<sup>2</sup>, lo que le permitió revalorar y reorientar el enorme potencial del JBR como espacio para llevar a cabo actividades de educación ambiental no formal. Se incorporaron propuestas bajo nuevos enfoques centrados en investigaciones recientes para desarrollar programas educativos en los sitios visitados por el público, enmarcados en una nueva forma de comunicación en estos espacios conocida como interpretación ambiental.

La interpretación ambiental se considera como una actividad educativa que ayuda a traducir el lenguaje científico para transmitir significados más que información, contribuir a la construcción de conocimientos significativos, generar emociones e inducir acciones de mejoramiento ambiental. Bajo este marco conceptual, se replantearon las visitas guiadas relacionándolas con los contenidos temáticos de la curricula oficial principalmente de las asignaturas de ciencias naturales, biología ecología, historia y geografía de Yucatán, formación cívica y ética, español, y más recientemente, educación para el desarrollo sustentable,<sup>3</sup> promoviendo la articulación de las diferentes áreas del conocimiento a través de la incorporación de la EA como eje transversal. En la actualidad, podemos decir que las visitas guiadas se desarrollan bajo el enfoque del pensamiento complejo, y pretenden contribuir a desarrollar el pensamiento crítico así como otras habilidades del pensamiento, y sobre todo, a recuperar el valor de la relación entre la sociedad y la naturaleza.

Otras actividades interpretativas personalizadas que también tuvieron buena respuesta por parte de los participantes han sido los cursos infantiles de verano. Se iniciaron en 1990 bajo el tema de “Botánica para niños”, dirigidos a niños y niñas de 5 a 11 años, ofreciéndose dos veces al año. En 1993 se realizó el taller “Verano científico”, el cual resultó muy atractivo para los participantes ya que no sólo incluyó conceptos y actividades botánicas, sino que involucró la

---

<sup>2</sup> Obtención del Diploma Internacional de Educación en Jardines Botánicos otorgado por la Organización Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos (BGCI por sus siglas en inglés) y los Jardines Botánicos Reales de Kew en Londres, Reino Unido.

<sup>3</sup> Asignatura obligatoria en algunos programas de educación media superior.

entusiasta participación de técnicos e investigadores de diferentes áreas del CICY. Debido a la motivación y respuesta de los participantes, en 1994 se modificó el curso de botánica denominándolo en lo sucesivo “Plantas, ciencia y algo más...”, con el fin de no restringir las actividades a una sola disciplina, ya que los intereses de los participantes solían ser muy diversos. Asimismo, los cursos se rediseñaron para rangos de edad de dos años de diferencia ya que las habilidades, conocimientos, percepción y actitudes de los niños varían de acuerdo a las edades. A partir de 1997, con la iniciativa de una estudiante que colaboró como voluntaria<sup>4</sup> se elaboró un pequeño diario de campo, el cual se fue mejorando desde el punto de vista pedagógico, didáctico y de diseño, logrando producir una serie de cuadernillos de trabajo (1997-2003) muy atractivos para los participantes. Es preciso mencionar que estos cursos incorporaron también un componente para promover la creatividad y la imaginación, aspectos formativos esenciales en el desarrollo de las habilidades socio-afectivas y del pensamiento de los pequeños.

Otras actividades que tuvieron buena acogida por parte del público fueron los eventos y talleres de sensibilización, organizados siempre con objetivos definidos y metodologías lúdicas y participativas para lograr la meta de sensibilización. Entre estos podemos mencionar los seis encuentros de pintura infantil, así como dos eventos de esculturas con plantas en diversas celebraciones del Día Mundial del Medio Ambiente, los talleres para conocer “Las plantas del *Hanal Pixan*”, el taller de “Música y plantas”, y “Juguetes: un uso divertido de las plantas”, en los cuales se reconocen las características de diferentes especies vegetales que permiten ser utilizadas, ya sea para construir instrumentos musicales o para la elaboración de diversos juguetes populares. También se realizó una Feria Ecológica del JBR con diversos talleres para chicos y grandes, así como un evento similar para la presentación de la colección didáctica para preescolares.

Asimismo, partiendo de los principios de la interpretación ambiental, también se elaboraron dos exhibiciones interactivas: “Descubre las plantas a través de los sentidos” y “La semilla: fuente de vida”, ambas con información y actividades accesibles a todo público, de las cuales se obtuvieron comentarios muy alentadores.

---

<sup>4</sup> Teresa Cuevas, 1997. Estudiante del Instituto Superior de Educación Normal (ISEN), Mérida, Yuc.

Los cursos para maestros “El Jardín Botánico como herramienta didáctica”, siete en total, dirigidos a maestros de educación básica, media básica y media superior, también tuvieron buena demanda. Se logró una asistencia promedio de 15 a 20 maestros por curso. Si bien el contenido era un tanto teórico brindaba una importante actualización a los docentes de ciencias naturales. No obstante, carecía de suficientes elementos de educación ambiental así como de elementos pedagógicos y didácticos que le permitieran al docente utilizar de forma autónoma el JBR. Existen a la fecha docentes que recuerdan los contenidos de aquellos cursos, e incluso una maestra de secundaria que año con año viene con sus grupos realizando ella misma sus prácticas y proyectos en compañía de sus alumnos. Es importante señalar que en estos cursos participaba todo el personal del entonces Departamento de Recursos Naturales así como algunos invitados de otras instituciones. Uno de los productos principales de este curso fue la motivación y participación de los docentes para elaborar de forma conjunta con los organizadores las guías de auto recorrido para maestros de diferentes niveles educativos con actividades de campo sugeridas para sus grupos. Desafortunadamente, no hubo un seguimiento posterior a la publicación de estas guías y se desconoce si tuvieron algún impacto o utilidad, pues los grupos siguieron accediendo con visitas guiadas. A pesar de la riqueza y el potencial del curso, en 1992 con la creación de la instancia oficial de actualización del magisterio<sup>5</sup>, los docentes dejaron de asistir a cursos ajenos al PRONAP.

Dentro de las actividades de interpretación no personalizada, se tiene el material de difusión, los letreros interpretativos del JBR y el material didáctico. Dentro del material impreso, en 1993 se publicó la Guía General del Jardín Botánico; se cuenta también con una guía de la colección de cactus y otra de murciélagos. Asimismo, se publicaron guías de auto recorrido para los diferentes niveles académicos, y diez números del Boletín Informativo del JBR. Cabe mencionar que los dos últimos números incorporaron elementos de interpretación ambiental, por lo que se modificó tanto el formato como el contenido de los boletines. A pesar del contenido y la demanda de estas publicaciones periódicas, no se ha logrado continuar con su producción principalmente por la falta de recursos humanos y financieros, ya que su producción implica muchos esfuerzos en la obtención, coordinación y edición de la información, requiriéndose al menos la participación de dos a tres

---

<sup>5</sup> Pronap: Programa Nacional de Actualización Permanente del Magisterio.

personas para este fin. También se han desarrollado diferentes materiales de difusión como trípticos, carteles, postales, videos, calendarios, etc. Se ha participado en diversos programas de radio y televisión y se ha emitido un sinnúmero de notas de prensa alusivas al JBR y sus actividades, elementos que han ayudado a promover el Jardín Botánico entre la comunidad. No obstante, la forma más común por la cual se ha difundido la existencia del JBR y de su programa educativo es de voz en voz, es decir, a través de los comentarios de los mismos docentes y visitantes.

Otra forma de interpretación desarrollada en el JBR han sido los letreros interpretativos. A la fecha se cuenta con 10 letreros de cerámica<sup>6</sup> los cuales constituyen un importante vínculo de comunicación entre el Jardín Botánico y los visitantes, ya que están diseñados temáticamente y transmiten elementos conceptuales, afectivos y conductuales. Estos materiales han recibido comentarios muy positivos acerca de su contenido y diseño en diversos foros tanto locales, como nacionales e internacionales. Sin embargo, para lograr una verdadera comunicación con el público se requiere diseñar un programa integral de interpretación ambiental que incluya tanto la modalidad personalizada como la no personalizada. Asimismo, se necesita diseñar y planificar el material interpretativo en estrecha colaboración con el curador de las colecciones, pues es a través del trabajo interpretativo que se hará la conexión con los visitantes. Además, una ventaja de esta herramienta, es que eventualmente permite planificar y diseñar senderos autoguiados para ser recorridos por los visitantes de manera autónoma. No hay que olvidar que gran parte de este trabajo es una imagen de nuestro jardín, por lo que requieren de un continuo mantenimiento y colocación adecuada y oportuna, es decir, que no haya letrero sin la especie o el evento del cual quieran comunicar.

Otro producto importante ha sido la elaboración de material didáctico para docentes de educación básica. Entre ellos se cuentan los paquetes educativos para maestros de primaria “Los seres vivos y su clasificación” (1998), actualmente agotado pero aún solicitado por lo que podría elaborarse una nueva versión actualizada. En 2007, con un financiamiento de BGCI, se publicó “El árbol del conocimiento”, el cual es una nueva propuesta educativa centrada en el constructivismo y en el aprendizaje significativo,

---

<sup>6</sup> Elaborados en 2002-2003 con financiamiento de la Comisión Nacional Forestal (Conafor).



que integra una serie de programas para los diferentes niveles de educación básica, articulando las diferentes áreas del conocimiento a través de la EA como eje transversal.

A la fecha podemos asegurar que el Programa de Educación Ambiental del JBR es el de mayor antigüedad y continuidad en el estado de Yucatán. Es resultado del trabajo comprometido e intermitentemente colaborativo de muchas personas, sin embargo, sólo en sus primeros años contó con un equipo de trabajo asignado a dicho programa. Más de 20 años de experiencia —empírica y práctica— han permitido el diálogo de saberes y la construcción paulatina de una plataforma conceptual, teórica y metodológica que nos ha abierto las puertas para incursionar en el campo de la investigación en educación ambiental. Actualmente se está desarrollando un proyecto interprofesional e interinstitucional<sup>7</sup> que ofrece la posibilidad de insertar una propuesta de innovación educativa en el sistema de educación formal. Este proyecto constituye un reto no sólo para el JBR sino para el propio CICY, ya que sostiene la responsabilidad y el compromiso que tiene una institución científica y académica para generar propuestas que contribuyan a resolver la creciente problemática educativa y socioambiental.

La actual crisis civilizatoria demanda nuevas propuestas educativas que aborden los problemas ambientales en toda su complejidad. Se requiere, sobre todo, de una nueva educación, una nueva pedagogía que nos ayude a revisar enfoques y prioridades. Una nueva educación centrada en los principios y paradigmas de la EA que nos enseñe a vivir en la crisis, que nos capacite para la tolerancia a la frustración, en la resolución pacífica de conflictos y que nos enseñe a enfrentar la incertidumbre. Una nueva educación que nos devuelva la certeza de que el cambio está en nuestras manos, que nos ayude a recuperar y mantener la esperanza, pero sobre todo, que nos recuerde la alegría de vivir.

### **Agradecimientos**

La autora quisiera expresar su más profundo agradecimiento a aquellas personas que han colaborado más estrechamente con una servidora en diferentes momentos. A la Biól. Lilia Carrillo, quien estuvo a cargo de las colecciones del JBR entre 1998-2004;

---

<sup>7</sup> Franco, V. y cols. Grupo Interdisciplinario de apoyo permanente para el desarrollo de habilidades cognitivas. Proyecto FOMIX, Clave 66198. Fecha de término: noviembre, 2009.

a la Biól. Beatriz Carcaño y a la Océn. Minerva Alonso, quienes colaboraron entre 1996 y 1998 gracias a un financiamiento de PNUD, por sus originales ideas e inagotable energía; a los estudiantes Mario y Gilda (prácticas profesionales) y Eric, Carlos, Fabiola, María José y Nayelli (servicio social), por sus ideas frescas y cálidas aportaciones durante su desempeño formativo, y a la Dra. Carolina González, entusiasta colaboradora (casi voluntaria), por su acompañamiento y pensamiento divergente que ha generado nuevas ideas y un enfoque teleológico al programa de EA del JBR, desde el 2006 a la fecha.

### **Referencias**

- Ausubel, D. 1983. *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Ed. Trillas, México.
- Ayora, N. 1991. *Las visitas guiadas y los cursos de verano en el JBR-CICY. Informe técnico final. Anexo I.*
- Colunga, P., M. G. Campos y S. Escalante. 1989. *Actividades del proyecto "Establecimiento de un Jardín Botánico (II etapa). Informe técnico.*
- Escalante, S. 1993. *Jardín Botánico Regional. Guía General. CICY, Secretaría de Ecología, Secretaría de Educación. 92 p.*
- González, G. 1983. *Revisitando la historia de la educación ambiental. En: Textos escogidos de educación ambiental de una América a otra. Universidad de Québec, Montreal. pp. 23-37.*
- Honig, M. 2006. *¡Déle vida a su jardín! Interpretación ambiental en jardines botánicos. Informe de la Red de Diversidad Botánica de África Austral. IUCN, GEF, PUNUD, USAID. 91 p.*
- Packer, J., R. Ballantyne. 2004. *Is educational leisure a contradiction in terms? Exploring the synergy of education and entertainment. Annals of Leisure Research 7(1):54-71.*

## La Vinculación en el CICY

*Inocencio Higuera Ciapara*

Como lo han señalado numerosos autores del presente libro, la vinculación entre los investigadores del CICY y los diferentes sectores que integran la sociedad mexicana se ha venido dando desde hace muchos años. El origen mismo del CICY se remonta a una necesidad específica de la sociedad yucateca de finales de los 70's cuando las condiciones socioeconómicas hacían urgente la búsqueda de alternativas agroecológicas y tecnológicas para mejorar la productividad en el cultivo del henequén así como lograr su mejor aprovechamiento (ver Cap. 5). Así, a partir de la creación del CICY y a medida que se ha venido consolidando el capital humano y la infraestructura física de la institución, la vinculación ha venido incrementándose de manera significativa, aunque aún quedan muchas áreas de oportunidad por atender en este importante tema para nuestro futuro.

En un análisis retrospectivo, la articulación del CICY con los diferentes actores de la sociedad bien puede clasificarse en cuatro grandes categorías, en función del usuario principal del conocimiento generado:

**La vinculación académica:** este tipo de vinculación se ha dado desde la creación misma de la institución a través de convenios de colaboración con universidades, institutos tecnológicos, centros de investigación e instituciones similares, tanto nacionales como del extranjero. Uno de los convenios académicos más importantes fue el que se firmó con el Instituto Tecnológico de Mérida para el arranque del Programa de Maestría en Ciencias en Biotecnología de Plantas en julio de 1985 (ver Cap. 9). Subsecuentemente, todos los años se han firmado diversos convenios para la participación en proyectos de investigación, intercambio de estudiantes o el inicio de alguna actividad científica o académica de interés para las partes. En la actualidad, el CICY tiene un registro de 42 convenios de colaboración vigentes con Instituciones de Educación Superior y Centros de Investiga-

ción en el ámbito nacional, 11 con universidades del extranjero y otros 21 con otro tipo de organizaciones académicas. La vinculación de carácter académico ha jugado un papel sumamente trascendente para el desarrollo de la institución, ya que ha enriquecido las interacciones con grupos científicos de muy diversas partes del mundo. También nos ha permitido traer estudiantes de otras regiones del país y de otros países; intercambiar especímenes vegetales a través del Herbario y en algunos casos, lograr acceso a infraestructura analítica con la que todavía no contamos. En los próximos años trabajaremos intensamente para fortalecer este tipo de vinculación enfocándonos hacia instituciones con grupos de excelencia y con quienes podamos hacer sinergias claramente identificables en áreas de relevancia para el futuro del CICY. Un ejemplo de esto es el Consorcio Bio5 de la Universidad de Arizona que incluye dentro de su estructura al Instituto i-Plant diseñado para abordar los grandes temas no resueltos de la biología vegetal con la infraestructura analítica más moderna disponible. Estas interacciones deben estar claramente definidas en términos de las líneas de investigación que los distintos grupos académicos han definido como prioritarias.

**La vinculación social:** Este tipo de vinculación también ha sido muy intensa a lo largo de la historia del CICY. Recordemos que en sus inicios, la institución contaba con un Departamento de Regionalización donde se abordaban aspectos socioeconómicos de la industria henequenera (ver Cap. 4) y a lo largo de la historia institucional, la mejor prueba de la vinculación social son los numerosos convenios firmados con organizaciones de ejidatarios, comuneros y cooperativistas para abordar —de manera conjunta— temas de relevancia ecológica o de sustentabilidad social, cultural o ambiental. Este tipo de vinculación comprende en muchas ocasiones el concepto de investigación-acción, es decir, la comprensión de los problemas que aquejan un determinado cultivo o una determinada región bajo un enfoque integral y que frecuentemente requiere de la conformación de grupos multidisciplinarios, así como una estrecha interacción con los usuarios reales o potenciales del conocimiento generado. Hay muchos ejemplos de este tipo de vinculación en el CICY: los proyectos realizados con orégano de monte, chile habanero (ver Cap. 27), plantas medicinales y Amarillamiento Letal y Cocotero (ver Cap. 16) son sólo algunos ejemplos. El programa de investigación de cocotero, por ejemplo, ha permitido producir para el Consejo Nacional del Cocotero 500 mil plantas resistentes tipo “Alto Pacífico”, de las cuales, 300 mil se han sembrado ya en cocales en Colima, Michoacán y Vera-

cruz. Asimismo, uno de los brazos más importantes para la vinculación con utilidad social ha sido el establecimiento y mantenimiento del Jardín Botánico Regional que ha sido una pieza clave para el desarrollo del Programa de Educación Ambiental y la construcción social de una cultura del cuidado al medio ambiente en amplios sectores de la población (ver Cap. 13 y 35). A pesar de lo anterior, al cierre del 2008 se tienen formalizados únicamente cuatro convenios con agrupaciones del sector social, por lo que tendremos que trabajar en incrementar nuestra interacción con este tipo de organizaciones, así como hacer más visibles estos proyectos ante la sociedad.

**La vinculación con los tres niveles de gobierno:** De igual forma que en los casos anteriores, la vinculación con los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) también ha sido muy intensa en estos 30 años de historia del CICY. Este tipo de vinculación no sigue los cánones de la vinculación académica o de los proyectos que se realizan con el sector productivo, sino que en la mayoría de las ocasiones se expresa a través de problemas o demandas urgentes de atender. También suele ser común que un programa o proyecto de vinculación social conlleve aspectos de vinculación con el gobierno. La Coordinación del Estudio de Biodiversidad, por ejemplo, fue un proyecto realizado a solicitud de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del Gobierno de Yucatán y ejecutado gradualmente a lo largo de casi tres años. Más recientemente, destaca el proyecto del Centro para el Estudio del Agua, hoy llamada Unidad de Ciencias del Agua, para la creación de una reserva hidrogeológica en el estado de Quintana Roo, misma que ha sido oficialmente aceptada y que constituye la primera reserva de este tipo en todo el continente americano.

La creación del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán (Siidetey) en mayo del 2008, representa una oportunidad inédita para lograr integrar los esfuerzos transdisciplinarios e interinstitucionales a favor de la vinculación social y con actores gubernamentales. En este marco, el Proyecto Estratégico del Gobierno del Estado de Yucatán en 2008 integró como una de sus prioridades, la implementación de un Banco de Germoplasma para especies de importancia agroecológica, medicinal y forestal de la Península de Yucatán. Este proyecto conjuntará esfuerzos en los ámbitos de la investigación, la conservación, el intercambio de recursos fitogenéticos con produc-

tores e instituciones del sector gubernamental y social, así como una intensa interacción con otras instituciones de la región.

**La vinculación con el sector privado:** En el caso de las actividades de vinculación realizadas con el sector privado, puede afirmarse que los primeros esfuerzos sistemáticos para establecer proyectos de investigación en apoyo a empresas privadas iniciaron formalmente con los trabajos sobre Cempasúchil (*Tagetes erecta*) a fines de los 80's vía un convenio con la empresa Bioquimex, S.A. para desarrollar variedades de alto rendimiento. Este proyecto duró más de 10 años y culminó con la transferencia de la tecnología a la empresa en 1995 (ver Cap. 20). Paralelamente al trabajo con cempasúchil, también se inició una colaboración importante con la industria tequilera para micropropagar individuos élite de *Agave tequilana* Weber, la cual desembocó en la creación de una Unidad diseñada para la producción de miles de plantas clonadas de *Agave*. Esta Unidad operó durante cuatro años pero no fue posible hacerla económicamente factible debido a problemas de diversa naturaleza, por lo que el Órgano de Gobierno del CICY decidió clausurarla en septiembre del 2005. Sin embargo, la acumulación de experiencias a lo largo de todos esos años dio lugar a la generación de un proyecto de largo plazo planteado a inicios del 2008 y encaminado a la generación de una plataforma tecnológica para la selección de agaves de alto rendimiento. Este proyecto involucra diversos grupos disciplinarios (marcadores moleculares, estudios fisiológicos, cultivo *in vitro*, fitopatología) y se estima que durará al menos cinco años. Tanto por su envergadura como en muchos sentidos, el desarrollo de este proyecto será clave para la planificación de futuras actividades de vinculación con empresas privadas así como para la implementación de una unidad de escalamiento para la producción de plántulas de papaya, agave y cocotero. Además, derivado de las experiencias anteriores, el grupo del Dr. Robert generó una patente (MX/a/2009/008318) que protege el diseño y la aplicación de un biorreactor que incrementa muy significativamente la eficiencia del cultivo *in vitro*. Posteriormente, en una modificación del diseño original, se presentó una solicitud adicional para reactores con un diseño alternativo (MX/a/2009/008318).

Asimismo, durante los años 2003 a 2005 y tomando en cuenta que uno de los objetivos de la fundación del CICY fue realizar investigación y desarrollos tecnológicos con el henequén, el grupo del Dr. Alfonso Larqué trabajó intensamente en coordinación con el Instituto Tecnológico de Mérida para encontrar alternativas de utili-

zación de la biomasa generada durante su cultivo e industrialización. De la fermentación de los azúcares de las piñas utilizando las levaduras nativas y la destilación se obtuvo una bebida alcohólica que se denominó *Sisal*. Se propuso, además, que del jugo de las hojas de henequén, que también tenía azúcares, se podría obtener alcohol, y en la última fase del proyecto se generaron mieles de henequén. El proyecto generó dos patentes (MX 219235 y MX 231037), marcas, publicaciones y formación de recursos humanos. La empresa “Licores de Henequén” licenció las patentes del CICY y estableció una operación comercial en Izamal que operó durante varios años hasta que la intensa competencia en el mercado por productos sustitutos provocó su cierre en el año 2007.

En el campo de los materiales, también se han celebrado numerosos convenios de colaboración con empresas privadas tendientes al aprovechamiento de las tecnologías desarrolladas por el grupo para fabricar materiales mejorados, tales como tableros termoacústicos a base de aglomerados, materiales compuestos con alto grado de biodegradabilidad, materiales para aplicaciones biomédicas y otros. En la actualidad, el grupo del Dr. Iván González ha iniciado el trámite de una patente para proteger el desarrollo de un sistema electrostático de impregnación de fibras continuas para producir materiales termoplásticos laminados.

La apropiación del conocimiento generado en la institución a través de patentes, modelos de utilidad y otras formas de protección amparadas por la Ley de la Propiedad Industrial es uno de los temas de mayor relevancia para el futuro de la institución, por lo que en los próximos años —a través del Comité de Innovación— fortaleceremos estos aspectos.

A la fecha, se tienen vigentes 15 convenios con empresas privadas, cámaras o asociaciones que representan empresas del sector privado y en los cuales se persiguen objetivos muy diversos, desde el desarrollo de nuevos productos, hasta la prestación de servicios especializados. Formalmente, el CICY presta estos servicios a través del Laboratorio de Metrología para todo lo que se refiere a necesidades de calibración de equipos en las magnitudes de masa, volumen, temperatura, presión, flujo y óptica. Las técnicas montadas en este Laboratorio han sido debidamente acreditadas ante la Entidad Mexicana de Acreditación (ema) (ver Cap. 33). De igual forma, el Laboratorio del Grupo de Estudios Moleculares Aplicados a la Biología (GeMBio) también ha sido acreditado en la rama de fitopatología para la detección de virus fitopatógenos,

bacterias y fitoplasmas, hongos, insectos y nemátodos. GeMBio presta servicios a pequeños productores así como a empresas agrícolas dedicadas a la producción de papaya, hortalizas y cítricos en toda la Península (ver Cap. 34). Adicionalmente, la Unidad de Ciencias del Agua en Cancún se encuentra en proceso de acreditar las técnicas analíticas para determinar la calidad de agua. Con estos tres laboratorios acreditados ante la ema, la capacidad de brindar servicios altamente especializados y con reconocimiento oficial continuará siendo una excelente vía para aumentar las oportunidades de colaboración con empresas privadas. Es decir, los servicios especializados pueden servir para generar un cierto nivel de recursos propios, pero aún más importante es que dichos servicios sean el vehículo para catalizar una interacción más intensa con los usuarios potenciales del conocimiento generado en el CICY y que eventualmente den origen a proyectos de investigación orientada, con objetivos muy específicos, mismos que pueden financiarse atendiendo demandas específicas que se presenten en las convocatorias de los Fondos Mixtos o Sectoriales, Fundación Produce o alguna de las vertientes del Programa de Innovación del Conacyt, entre otras fuentes.

Tomando en consideración lo anterior, puede concluirse que los procesos de vinculación del CICY han sido de naturaleza muy amplia y han abarcado prácticamente todos los sectores de la sociedad mexicana, cumpliendo así con uno de los objetivos para los cuales fue creado el CICY y que se encuentra claramente establecido en la misión institucional. Ahora bien, también es pertinente señalar que las políticas del gobierno federal en materia de ciencia y tecnología han repercutido directamente en la forma en que las Universidades y los Centros Públicos de Investigación conciben y desarrollan sus procesos de vinculación con la sociedad. Por ejemplo, la creación de muchos de los Centros Públicos de Investigación del Subsistema Tecnológico coordinados por Conacyt, tales como CIATEQ, CIQA, Cidesi, Cideteq, CIATEC y otros, obedeció en gran medida al interés del gobierno federal por generar un sistema de instituciones que pudiese articularse con el sector productivo para la solución de problemas en forma compartida. En aquel entonces, uno de los primeros esfuerzos de Conacyt para fomentar este proceso fue el Programa de Riesgo Compartido, que estuvo a cargo de la Dirección de Desarrollo Tecnológico. Posteriormente, éste se convirtió en el Programa de Enlace Academia-Industria que estuvo en vigor hasta mediados de los 90s. Más recientemente, en junio de 2002, el H. Congreso de la Unión aprobó la Ley de Ciencia y Tecnología, lo cual significó una



directriz clara de política hacia el fortalecimiento de los procesos de vinculación. Este cambio implicó también una nueva forma de acceder a financiamiento para proyectos orientados a la solución de problemas específicos, de tal forma que se crearon los Fondos Mixtos (con los gobiernos estatales) y los Fondos Sectoriales (con las Secretarías de Estado). Además, esta Ley flexibilizó el manejo de los recursos propios vía la creación de Fideicomisos Públicos administrados por los propios Centros Públicos de Investigación. En noviembre del 2009, el CICY reactivó dicho Fideicomiso para poder ejercitar algunas de las múltiples ventajas que proporciona su operación.

En complemento de lo anterior, el 21 de agosto del 2008 se publicó una importante reforma con la cual se pretende dar mayor flexibilidad en la aplicación de los recursos autogenerados, así como una serie de disposiciones que buscan estimular los procesos de vinculación. En relación con la aplicación de los recursos provenientes del Fondo: 1) permite la contratación de personal por tiempo determinado para proyectos científicos o tecnológicos, siempre que no se regularice dicha contratación posteriormente, y 2) indica que la contratación de las adquisiciones, arrendamientos y servicios se llevará a cabo de acuerdo a una normatividad específica, sustentada en las reglas de operación del Fondo; no obstante, la sujeta a las disposiciones administrativas que estime necesario expedir la Secretaría de la Función Pública o la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, en el ámbito de sus respectivas competencias. En materia de libertad de asociación y desarrollo de actividades, faculta a los Órganos de Gobierno a aprobar y establecer disposiciones normativas y administrativas para que los Centros Públicos de Investigación participen en empresas (con o sin aportación al capital social), así como para que el personal que labora en los mismos se incorpore y participe en asociaciones, alianzas, consorcios o nuevas empresas, ya sea a través de incubadoras que estén relacionadas con la misma entidad o a través de mecanismos alternos, cuidando en todo momento que se cumpla con la Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos. Por último, se le delega al Órgano de Gobierno la facultad de determinar lo relativo a los derechos de propiedad intelectual y los beneficios que correspondan.

Más recientemente, el 6 de junio de 2009, se aprobaron nuevos cambios a la Ley de Ciencia y Tecnología buscando fortalecer aún más los procesos de vinculación y tratando de capitalizar las experiencias que han tenido otros países. Así, se procedió a incorporar el

concepto de “innovación”, lo que pone de manifiesto el interés del Congreso para que se intensifique la aplicación del conocimiento y/o del desarrollo tecnológico en la creación de nuevos productos o mejora de los ya existentes, lo que fortalecería la competitividad a través de las estrategias de diferenciación y de precios, aspectos que han sido presentados de forma teórica por diversos estudiosos del tema. Asimismo, establece la posibilidad de que las instituciones académicas lleven a cabo la creación de Unidades de Vinculación y Transferencia de Tecnología u otros organismos similares, los cuales deben cumplir la función de intermediación entre los oferentes y los demandantes de tecnología, propiciando estrategias creativas que vinculen al sector científico y tecnológico con las organizaciones sociales o privadas, para aplicar los conocimientos científicos generados a través de la investigación en la satisfacción de las necesidades económicas y sociales. Estas Unidades también deben promover que las pequeñas y medianas empresas tengan acceso a la infraestructura y el conocimiento generado en las organizaciones académicas, sin tener que realizar inversiones elevadas. Además, las nuevas disposiciones establecen que los Órganos de Gobierno podrán aprobar lineamientos que permitan que el personal académico generador de conocimiento o desarrollo tecnológico que se transfiera a los usuarios pueda recibir hasta un 70 por ciento de las regalías que se generen. En otros temas, la nueva Ley contempla la creación de fondos específicos que fomentan la innovación y permite que los fondos Conacyt amplíen su objeto de financiamiento hacia actividades y proyectos relacionados con la innovación, tales como los derechos de propiedad intelectual que se generen y la divulgación de la ciencia, la tecnología y la innovación. En este marco, el CICY ha creado el Comité de Innovación, integrado por catorce investigadores de las distintas Unidades Académicas, con el fin de promover la cultura de la propiedad intelectual, evaluar proyectos con potencial de comercialización y promover la generación de recursos propios.

En los próximos años, uno de los retos más importantes que enfrentará nuestra institución será aprovechar todos estos cambios de paradigma —así como la experiencia y conocimientos generados a lo largo de las últimas tres décadas— para demostrar de manera tangible y objetiva que la inversión en ciencia y tecnología ha dado frutos y que los científicos, ingenieros y tecnólogos podemos aportar soluciones viables desde el punto de vista social, económico o tecnológico para afrontar exitosamente los múltiples problemas que nos aquejan en la compleja sociedad del Siglo XXI.



## **TERCERA PARTE**



### **Sección VI: Hacia el futuro**



# **El CICY: piedra angular en la reactivación de la actividad henequenera del siglo XXI**

*Lucely Alpizar Carrillo*

## **Antecedentes**

Hablar del henequén es hablar de la historia de Yucatán desde la época prehispánica hasta nuestros días.

En la época prehispánica, los mayas utilizaban el henequén en la fabricación de telas, hilos, zapatos y cuerdas. No sólo tenía uso doméstico, también era un elemento fundamental en su arquitectura: lo usaban para construir andamios, levantar las estelas con las cuales anotaban el paso del tiempo, poner las gruesas losas dinteles a las entradas de los templos y para erigir las pirámides. Su importancia era tal que se considera un factor tecnológico en la arquitectura maya (Rodríguez, 1966).

Aunque al inicio de la Colonia la importancia del henequén era mínima, debido al uso generalizado de las técnicas de construcción de los españoles, los indígenas, que conocían muy bien su importancia, lo seguían cultivando de manera doméstica en los pueblos y en algunas haciendas maicero-ganaderas donde era utilizado en las labores agrícolas. A principios del Siglo XIX, gracias a Don Policarpo Antonio de Echánove, las haciendas comenzaron a sembrar henequén, pues ya empezaba a utilizarse también para la fabricación de cuerdas para barcos y diversos productos empleados en tareas de la marina, y fue entonces cuando empezó a exportarse a España y Cuba (Villanueva, 1984).

Sin embargo, durante la primera mitad del Siglo XIX, el henequén continuó siendo un producto de poco valor dentro de la economía yucateca. Al comienzo de la agroindustria henequenera, la limitante era el proceso de desfibrado, que seguía siendo manual, hasta que en 1855, Don José Esteban Solís inventó la má-

quina de raspar y con ello se abrió camino a la rápida expansión de la superficie sembrada de henequén, complementándose a finales de siglo por un sistema ferroviario en el Estado que contribuyó significativamente a aumentar la eficiencia y rentabilidad de la industria henequenera.

Así, para 1900, todos los hilos producidos en Estados Unidos eran fabricados con la fibra de henequén yucateco. En 1916, Yucatán dominaba el mercado internacional de las fibras duras, ya que el 90 por ciento del consumo mundial era de producción yucateca, llegándose a exportar 202 mil toneladas, pero después de ese año comenzó el descenso continuo de todas las actividades relacionadas con la industria henequenera.

Muchos han sido los esfuerzos de nuestros gobiernos para mantener la agroindustria del henequén; el más importante fue la creación en 1961 de la paraestatal Cordemex, pero la competencia de las fibras sintéticas y de otros países productores de fibras duras, combinado con la baja producción agrícola en Yucatán y la mala administración, originó que constantemente disminuyera la participación de México en los mercados internacionales.

En 1984, durante el Gobierno interino de Don Víctor Cervera Pacheco, se elaboró el Programa de Reordenación Henequenera y Desarrollo Integral de Yucatán, y fue ésta la antesala de lo que en



1993, durante el Gobierno de Doña Dulce Ma. Sauri Riancho, fue la liquidación henequenera: se liquidó o jubiló a los 38 mil henequeneros, se privatizó Cordemex y se vendieron algunas de sus desfibradoras y otras fueron donadas al sector social (Eastmond, 2000).

### **Situación actual del henequén**

Después de la liquidación henequenera, el Estado se deslindó totalmente del control de la producción y precio de la fibra, y aunque el apoyo a los productores henequeneros continúa hasta la fecha, de 1993, que se producían 30 mil toneladas, en 2007 la producción fue únicamente de cinco mil toneladas. El deslinde del Gobierno como eje rector de la actividad propició que la agroindustria quede en manos de unos cuantos, que a la vez venden su producto a un solo comercializador, originándose así, un monopolio que define a su albedrío el precio de la fibra, por supuesto, en detrimento de la economía de los más necesitados: el sector social.

No obstante este panorama, México es el segundo importador de fibra de henequén, lo que es una muestra de que aun cuando nuestro país es el sexto productor a nivel mundial, su producción no es suficiente para satisfacer la demanda del mercado interno, que es de aproximadamente 20 mil toneladas, lo que



abre una gran oportunidad a los productores yucatecos. Entre 2003-2008, más del 98 por ciento de las importaciones mexicanas de fibra provinieron de Brasil, Kenia y Tanzania (Secretaría de Fomento Económico, 2008).

### **Las nuevas aplicaciones del agave**

El henequén es una planta con un gran potencial de explotarse integralmente; sin embargo, únicamente se ha utilizado la fibra, que representa sólo el cinco por ciento de toda la planta. Por esta razón, en todas las crisis de mercado por las que atravesó el henequén resurgían las preocupaciones en cuanto a los nuevos usos del agave. Desde la década de los 70's, cuando los mercados

internacionales dieron de plano la espalda a las fibras naturales, Cordemex incentivó estudios de investigación para buscar otros usos a la planta de henequén, y aunque éstos se realizaban en instituciones de educación superior como la UNAM y la UDY (hoy UADY), Conacyt y la *Omni Research Incorporate*, fue en 1979 cuando a iniciativa del gobernador Francisco Luna Kan se creó el Centro de Investigación Científica de Yucatán, cuyo objetivo fue implementar líneas de investigación encaminadas a buscar el aprovechamiento integral del henequén mediante los usos de los subproductos del desfibrado.

Así, se crearon cuatro Departamentos: a) el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, con el Dr. Carlos Huitrón; b) el Departamento de Cultivo de Tejidos Vegetales, con el Dr. Manuel L. Robert; c) el Departamento de Química Aplicada, con el Dr. Carlos Cruz, y d) el Departamento de Recursos Naturales, con el Dr. Roger Orellana, todos bajo la dirección general del Dr. Luis Del Castillo Mora.

Aunque en la década de los 90's, después de la venta de Cordemex, el CICY se abrió a líneas de investigación diferentes al henequén, las investigaciones sobre este tema fueron y siguen siendo de las prioritarias en nuestro Centro. A treinta años de distancia, el CICY está posicionado nacional e internacionalmente como la institución que más trabajo interdisciplinario tiene en materia de henequén, el cual se ha plasmado en: 7 libros, 32 capítulos de libro, 20 tesis de licenciatura y posgrado, 33 artículos de revistas científicas, 17 presentaciones en congresos, seminarios y simposium y 1 patente.

### **El henequén con visión de futuro**

La situación henequenera es un problema complejo cuya solución ya no es posible planearla a la luz de un viejo esquema productivo, ya que el actual entorno económico establece nuevas reglas y condiciones. Sin embargo, en una vasta región del Estado (región noroccidental de Yucatán), conocida como la Zona Henequenera, permanecen más de 10 mil familias que dependen de este cultivo.

Por esta razón, el Gobierno del Estado que encabeza Ivonne Ortega Pacheco, con base en una política incluyente y solidaria, pretende impulsar una nueva cultura productiva mediante el análisis y la determinación de las condiciones, capacidades y potencialidades reales de cada uno de los eslabones de la cadena pro-



ductiva y con base en ello, generar y apoyar las acciones y proyectos necesarios para la reactivación de la agroindustria. El programa de reactivación henequenera se inserta como un nuevo capítulo en un largo proceso histórico de transformación social.

El interés de este programa es reducir el efecto de las crisis recurrentes en el sistema de producción henequenero, a partir del fortalecimiento de las actividades primarias, la consolidación del proceso industrial y la creación paulatina de centros de producción diversificados mediante la implementación de nuevos usos, producto de la investigación e innovación tecnológica.

Más allá de los aspectos sociopolíticos, teniendo como base un modelo de desarrollo diversificado y sostenido, se tratará de satisfacer las actuales necesidades económicas y de producción pero sin comprometer los recursos de las futuras generaciones. La reactivación henequenera requiere de una nueva estrategia basada en la identificación de microrregiones con mayor potencialidad, considerando sus condiciones ecológicas, de infraestructura, de producción y de servicios, tomando en cuenta la organización social de las comunidades, y por supuesto, comprometiendo a los tres órdenes de Gobierno, así como a organizaciones no gubernamentales involucradas en las distintas acciones de desarrollo.

El calentamiento global, los precios del petróleo, la importancia actual de la producción de biocombustibles, el interés que retoman las fibras duras en el mercado internacional, aunado a la importancia económica que representa para miles de familias campesinas, han hecho que el Gobierno actual retome su compromiso con el campo henequenero y plantee el “Programa de reactivación del cultivo henequén”. La participación del CICY será de suma importancia para cada uno de los eslabones de la cadena productiva, pues es necesaria la utilización de la Biotecnología en las actividades primarias (utilización de plántulas propagadas a partir de individuos “elite”), lo cual asegurará la obtención de una mayor eficiencia en la actividad primaria, obteniéndose plantas con mayor rendimiento de fibra por hectárea. Asimismo, los estudios sobre la elaboración de materiales compuestos con fibra de henequén, así como la obtención de alcoholes e inulinas darán un valor agregado al cultivo de esta planta propiciando bienestar a miles de familias cuya economía depende aún de este cultivo. El interés de este Gobierno aunado al compromiso social solidario de nuestra institución, traducido en una gran productividad en cuanto a investigación sobre el henequén se refiere, nos alienta a

pensar que el principio del Siglo XXI es también el principio de una nueva y mejor etapa para el henequén yucateco.

### **Referencias**

- Eastmond, A., J. L. Herrera, M. Robert. 2000. La biotecnología aplicada al henequén: Alternativas para el futuro. CICY. Mérida, Yuc. 106 p.
- Rodríguez, A. 1966. El henequén: una planta calumniada. Costa Ami. México, D.F. 396 p.
- Villanueva Mukul, E. 1984. Así tomamos las tierras. Henequén y Haciendas en Yucatán durante el Porfiriato. INAH. Yucatán, México. 136 p.

# La participación del CICY en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán

*Alfonso Larqué Saavedra*

Consolidada la planta académica institucional a finales del año 2007-2008, fue necesario plantear un proyecto que albergara las actividades experimentales del CICY en los próximos 10 años. En principio, se hizo un recuento por Unidad de las necesidades de espacio de cada uno de los proyectos que realizan trabajo de campo y sus potenciales demandas, dada la idea de plantear proyectos de largo aliento y no proyectos de corto plazo de dos o tres años, como venía siendo la costumbre.

La mecánica fue simple y se integró una propuesta final de lo que podría ser el espacio necesario que el Centro requeriría en el corto y mediano plazo.

## **Unidad de Recursos Naturales**

Se destacaron aquellos proyectos que en los últimos 10 años habían mantenido el interés por espacio dentro de sus tres líneas básicas, destacándose, por ejemplo, las colectas de material genético de agaves, que se ha venido haciendo desde hace 20 años y que han servido para trabajos de investigación y tesis de estudiantes. Estas colectas demandan, al menos, una hectárea para plantear una área de siembras y establecer, por ejemplo, especímenes que ilustren la secuencia filogenética de los mismos, o bien, su distribución geográfica.

Las colecciones de palmeras, incluyendo al coco, demandarían, al menos, diez hectáreas para poder hacer estudios de heredabilidad de caracteres y validación en huertos de individuos resistentes al amarillamiento letal; también para realizar estudios ecofisiológicos y de otra naturaleza, así como llevar a cabo los estudios de filogenia correspondientes y plantaciones demostrativas.

Se señaló que existiría necesidad de espacios para colecciones menores como orquídeas y bromeliáceas en las que la Unidad es reconocida por sus aportaciones.

Para hacer estudios de ecología de poblaciones y comunidades, se requieren de reservas vegetales demasiado grandes, que llevarían al Centro el plantear el manejo de una reserva biológica o de la biosfera, lo cual rebasa las expectativas del planteamiento de definición de espacios.

### **Jardín Botánico**

Se consideró fundamental ampliar las facilidades de espacio para las colecciones con las que cuenta actualmente el Jardín Botánico e introducir algunas nuevas.

En principio, se contempló urgente enriquecer el Jardín con ornamentales, así como las medicinales y colección de frutales. En reunión expresa con Los Amigos del Jardín Botánico, que preside el Ing. Porfirio Suárez, se consideró importante insistir en ampliar de manera significativa el espacio del Jardín y también el acceso a usuarios, ya que es un punto de referencia y atracción para visitantes de instituciones académicas y turistas de diferentes partes del mundo.

### **Unidad de Biotecnología**

El proyecto de plátano, que actualmente tiene sembradas colecciones de material seleccionado en el campo del INIFAP, ha sufrido en diferentes ocasiones alteraciones serias por el cuidado que demanda esta planta durante todo el año.

Conviene anotar que de este material se clonó el necesario para enviar a Tabasco las 5,000 plantas que el CICY donó a ese estado por la pérdida de sus plantaciones, producto de las inundaciones del año 2007. Este proyecto ha señalado la necesidad de, al menos, una hectárea de terreno para sus estudios.

El proyecto del estudio del amarillamiento letal del coco se consideró integrarlo a lo demandado por el área de recursos naturales para palmas.

Otro proyecto relevante es el del henequén clonado, que desde sus orígenes fue sembrado en plántulas de productores, y el CICY no cuenta con una colecta demostrativa de materiales élite

del trabajo de 25 años en esta especie en la que se muestren los organismos sobresalientes y se aprecie visualmente el beneficio de esta técnica en agaves. Para los estudios de esta especie se planteó la necesidad de espacio dentro de la propuesta.

El proyecto de papaya se ha venido realizando en huertas de productores que se encuentran ubicadas a grandes distancias del Centro, lo que ha hecho que los proyectos sean sumamente costosos y riesgosos, debido a que son ensayos de investigación y de prueba y cotejo, y no de parcelas demostrativas; por lo que se corre el riesgo del desaliento por parte de los productores que no ven los resultados espectaculares que se espera de este tipo de plantaciones.

### **Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas**

El proyecto de chile habanero, por falta de campo experimental, ha iniciado siembras de campo, y la alternativa ha sido crecer el material élite con productores para evaluar el material genético del banco de germoplasma que ha formado.

Estas dos últimas Unidades han señalado la importancia de contar con invernaderos especializados para el material, producto de la transformación y otros ensayos con especies como café, *Tagetes*, vicaria, entre otros.

En últimos tiempos se ha planteado la necesidad de espacios para siembra de especies de importancia para la Bioenergía.

### **Unidad de Materiales**

Debido a la actividad propia de la Unidad y a los proyectos que se han desarrollado hasta la fecha, no se ha planteado la necesidad de mayor espacio para experimentación, fuera de espacios para talleres y aulas.

### **Centro para el Estudio del Agua**

Los proyectos de investigación esta Unidad se realizan fundamentalmente en cenotes y ríos subterráneos del acuífero peninsular, por lo no se planteó un espacio específico para realizar dichos estudios, aunque se anotó la necesidad de una estación de campo mayor para trabajos demostrativos y prácticas escolares.

Haciendo un resumen de los requerimientos de las Unidades, se acordó la necesidad de tener un campo experimental de entre 10 y 15 hectáreas para satisfacer las necesidades en los próximos años.

Una vez terminado el ejercicio, se convino hacer una propuesta al Gobierno del Estado para la consecución del espacio.

Fueron varios los acercamientos y entrega de peticiones formales, y por fin, en el año de 2008, se notificó oficialmente por parte del ejecutivo del estado, la C. Gobernadora Ivonne Ortega Pacheco, que se autorizaban, en principio, 13 hectáreas para albergar proyectos académicos y 2.5 hectáreas específicamente para un jardín botánico de ornamentales.

Dicha entrega simbólica se llevó a cabo en el Teatro Peón Contreras de la ciudad de Mérida, y esto se está materializando dentro de un modelo que a nivel de estado se ha planteado como el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán, en el que confluirán otras instituciones de perfil académico. Dentro de éstas, además del CICY, estarán presentes: Cinvestav, CIESAS, CIATEJ, Concytey, Conacyt y la UADY, y se construirá una biblioteca central y una unidad de congresos y seminarios.

La participación de CICY se espera con gran expectativa, en donde se planea que todas las construcciones estén rodeadas por vegetación natural y que el parque sea un gran jardín botánico en el que los expertos del Centro participen activamente.

Esto transformaría al CICY en una institución modelo a nivel nacional por su participación en el que podría ser el primer proyecto arquitectónico con arquitectura del paisaje y con especies vegetales que sugieran los taxónomos, ecólogos, fitogeógrafos, entre otros expertos del Centro.

Otra propuesta que ha señalado el CICY, y a la que se dio la bienvenida en el Parque, es la conducción y establecimiento del jardín de plantas ornamentales. De hecho, se ha planteado como algo emblemático, ya que se ubicará a la entrada del parque y se espera que cumpla no sólo con una función científica, sino que sea visitado por los amantes de la belleza de la vegetación peninsular. Seguramente las bromelias, orquídeas, palmas ornamentales, etc., familias en las que el CICY es reconocido a nivel nacional y mundial, estarán presentes.

El CICY, dentro del espacio que le fue asignado en del Parque Científico y Tecnológico, ha propuesto el establecimiento de

un banco de germoplasma; así, la idea que se había venido señalando desde hace varios años, formalmente será establecida.

De hecho, este proyecto se integró en una propuesta conjunta y se presentó al Conacyt en su convocaría específica, y fue aprobada, por lo que ahora la edificación del banco cuenta con el apoyo financiero inicial para su construcción.

El banco tendrá una gran oportunidad de ser reconocido en el corto plazo a nivel nacional, peninsular y estatal, ya que tendrá como objetivo fundamental conservar la diversidad, no sólo de especies vegetales, sino también de microorganismos y especies de otros reinos, sumándose así al esfuerzo nacional anunciado por el presidente de la república, quien durante el congreso forestal, a finales de 2008, anunció un apoyo de 280 millones de pesos para establecer un banco de germoplasma nacional en Jalisco.

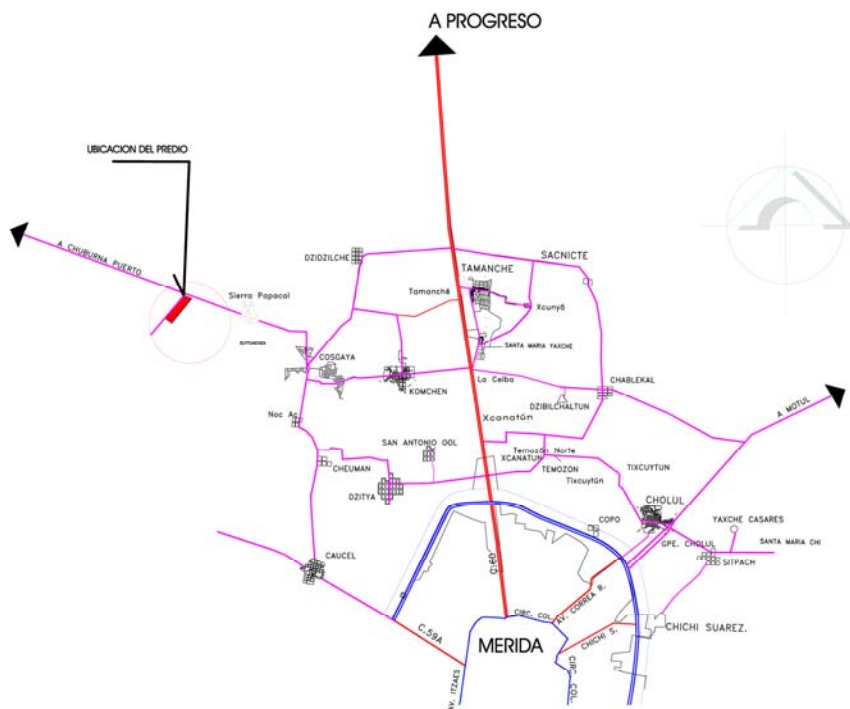
También se sumará al esfuerzo internacional y mundial señalado al inicio del Siglo XXI en los proyectos de escala mundial para conservar la biodiversidad.

Así, por ejemplo, Kew Gardens, de Inglaterra, se encuentra liderando el establecimiento del banco de semillas del milenio y Noruega establecerá otro banco, en las heladas montañas de la isla de Longyearbyen, en Svalbard, a 150 m de profundidad, estará la bóveda que almacenará y resguardará la riqueza vegetal de todo el planeta. Este banco ha empezado a almacenar semillas de los 11 bancos más importantes del mundo.

Este proyecto visionario del CICY, que nace como consecuencia de su trabajo de 30 años de desarrollar investigación en el campo de los recursos naturales, se empezará a consolidar y seguramente será un polo científico de referencia, ya que planea hacer ligas para que el banco conserve material *ex situ* y no únicamente en las instalaciones. Se ha anunciado que tendrá laboratorios anexos de biología molecular para estudios de filogenia, entre otros. Asimismo, será un complemento de su Herbario de gran importancia taxonómica, y que es un lugar de referencia obligado para los estudios regionales de la flora, así como también de su trabajo pionero de establecer un jardín botánico en la península de Yucatán, que fuera concebido originalmente hace cerca de 30 años.

En el Parque Científico, también se espera que nuestro Centro establezca invernaderos, parcelas demostrativas y experimentales, así como colecciones de importancia biológica. El CICY también participará con otras instituciones en la integración de la

biblioteca, que en gran medida será digital, y que servirá para favorecer el ambiente académico de todos los usuarios del Parque, que está situado a dos kilómetros del poblado llamado Sierra Papacal, como podrá apreciarse en los diagramas adjuntos.









# **Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas**

*José Juan Zúñiga Aguilar*

Desde sus inicios, la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas (UBBMP) se ha especializado en el desarrollo de investigación básica con la premisa de generar conocimiento científico relacionado con la biología vegetal, específicamente en las áreas cercanas a la bioquímica y la biología molecular. No obstante, algunos de los conocimientos generados pueden ser aplicados a la resolución de problemas específicos de producción, como mejoras en los rendimientos o en la calidad agronómica de los productos. La UBBMP no ha descuidado esto último.

Si bien, puede decirse que la UBBMP ha logrado un destacado nivel de consolidación, a través del tiempo tuvo un recambio de investigadores relativamente constante, y es en el primer quinquenio del Siglo XXI que esto disminuye y la plantilla se establece. Actualmente, colaboran en la Unidad 16 investigadores de tiempo completo, todos con nivel de Doctorado y todos pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadores. Los grupos de investigación de la UBBMP son apoyados por 19 técnicos académicos de tiempo completo y por uno de tiempo parcial, trece de ellos tienen el grado de Maestría y cinco están en proceso de obtenerlo. La fortaleza académica del grupo de apoyo técnico ha sido reconocida a nivel nacional, pues a la fecha seis técnicos académicos de esta Unidad forman parte del SNI, cinco en el nivel de candidato y uno en nivel I, lo cual, además, es un reflejo de la solidez académica de los grupos de investigación en los que participan.

La participación de los investigadores de la UBBMP en el Posgrado institucional ha sido manifiesta desde la creación de éste en 1994, siendo destacado su aporte a la formación de recursos humanos de alto nivel, con lo cual ha logrado contribuir a la formación de grupos de investigación en otros centros y en el CICY mismo. Además de desarrollar activamente un programa de

asesoramiento de estudiantes de servicio social, de residencias profesionales y de tesis de licenciatura, su aporte en la formación de Maestros y Doctores en Ciencias ha sido reconocido a nivel nacional. En este sentido, la UBBMP se ha posicionado como una de las mejores opciones nacionales para el desarrollo de estudios de Doctorado en el área de la Bioquímica y la Biología Molecular de Plantas; entre algunas razones para esto se encuentra el hecho de que los alumnos de Doctorado se han graduado con la publicación de al menos un artículo en revistas indizadas y que el cien por ciento se encuentra insertado en el ámbito laboral en instituciones de alto renombre a nivel nacional e internacional. Otro de los parámetros que permiten medir la calidad del Doctorado en la Opción de Bioquímica y Biología Molecular, es que el 95 por ciento de sus graduados que se dedican a la investigación pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

La Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas ha tenido un desarrollo sostenido que prácticamente ha evolucionado en paralelo con el de la Institución, pues algunos de sus miembros han sido pioneros de los primeros esfuerzos y de las decisiones para la definición de los rumbos del CICY, tanto en investigación como en docencia. No obstante, a partir del año 2001, la entonces Unidad de Biología Experimental modificó su nombre por el actual y en 2005 decidió de manera colegiada la estructuración de sus actividades científicas en cuatro líneas de investigación, mismas que entraron en operación al año siguiente: *Estrés Abiótico y Nutrición Mineral*, *Estrés Biótico*, *Metabolismo Secundario e Ingeniería Metabólica y Morfogénesis y Regulación Genética*.

Los aportes que las diferentes líneas han ofrecido al conocimiento universal han sido vastos y variados. Así, por ejemplo, las contribuciones de la UBBMP en la línea de Morfogénesis y Regulación Genética, específicamente en el área del cultivo de tejidos vegetales, han sido relevantes en modelos de importancia agronómica como el café (*Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* L.), el cocotero (*Cocos nucifera* L.) y el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), así como en modelos de importancia farmacéutica como la Vicaria o Vinca de Madagascar (*Catharanthus roseus* L.). La optimización de protocolos de regeneración *in vitro* a través de la embriogénesis somática o de la morfogénesis ha permitido la generación de sistemas de clonación de variedades con características agronómicas sobresalientes. Además de ofrecer a los productores sistemas de producción de variedades elite (*i. e.*, el café),

los protocolos de regeneración han constituido excelentes herramientas experimentales para el estudio de los procesos vegetales de desarrollo y diferenciación celular, así como para el estudio de las interacciones entre las células vegetales y diferentes factores externos, tanto bióticos como abióticos, bajo un sistema controlado libre de las fluctuaciones medio ambientales. De esta manera, se han podido analizar las funciones básicas de la bioquímica y la genética vegetales mediante modelos de laboratorio, lo que ha permitido encontrar respuestas a las preguntas biológicas más rápidamente. Como ejemplo de ello baste decir que entre algunos de los descubrimientos generados en las líneas de Metabolismo Secundario e Ingeniería Metabólica, Estrés Abiótico y Nutrición Mineral y Estrés Biótico se incluye la primera evidencia bioquímica de la presencia de múltiples formas de citocromo P450 reductasas en plantas; la primera demostración de la presencia, y caracterización de la enzima 10-oxogeranial:iridodial ciclasa en *Catharanthus roseus*; la primera evidencia de la existencia de proteínas fosforiladas en tirosina en plantas; la descripción por primera vez de la función de un nuevo segundo mensajero en la toxicidad por el aluminio, y el descubrimiento y la caracterización molecular de nueve virus nuevos de plantas en México (representa casi el doble de los descritos anteriormente). Adicionalmente, se han obtenido avances significativos utilizando como modelo a otras especies que incluyen el achiote (*Bixa orellana* L.), el cempasúchil (*Tagetes erecta* L.), el chicalote (*Argemone mexicana* L.) y el banano (*Musa acuminata* C.), entre otros.

En la línea de Estrés abiótico y nutrición mineral se ha generado conocimiento científico relacionado con la influencia que factores abióticos del medio ambiente ejercen sobre el metabolismo y la fisiología celular en las plantas de estudio. Entre los factores ambientales que se estudian destacan los metales tóxicos, los elementos nutrimentales y los relacionados con los recursos hídricos. De manera sobresaliente, se ha descrito ampliamente la participación, la regulación y la afectación de rutas de transducción de señales que conectan el reconocimiento de metales tóxicos como el aluminio con las respuestas celulares que se modifican en consecuencia. Para ello, utilizando al café como modelo de estudio, se han generado líneas celulares con mayor tolerancia a la toxicidad por aluminio. La activación contrastante de los intermediarios de señalización en los sistemas susceptibles y los sistemas tolerantes ha permitido poner en evidencia el papel de estos intermediarios en la respuesta fisiológica de esta especie ante la

presencia de este metal. Por otro lado, el estudio de los factores ambientales ha permitido identificar procesos celulares que potencialmente pueden apoyar el uso más eficiente de los recursos hídricos y nutrimentales. Con relación a los elementos nutrimentales, los estudios están encaminados a la determinación de la eficiencia con la que las plantas pueden detectar la fuente de nitrógeno y el efecto que este nutrimento ejerce sobre la arquitectura y las funciones radiculares.

Con relación a los estudios de la línea de Estrés Biótico, los trabajos de nuestra Unidad se han concentrado en estudios científicos cuyos resultados puedan influir en la reducción de pérdidas por enfermedades causadas por microorganismos patógenos. Así, los productos de los proyectos en ejecución han contribuido a la detección de resistencia natural contra enfermedades virales y fúngicas en las variedades criollas del chile habanero, así como en la aplicación de compuestos naturales para inducir los sistemas de defensa en esa planta. En los grupos que desarrollan estas investigaciones se han identificado diversos marcadores moleculares y bioquímicos de resistencia, lo que ha facilitado la detección o la generación de materiales de chile habanero con mayor tolerancia al ataque por microorganismos patógenos. En esta línea se han aislado productos celulares que de manera natural confieren tolerancia a las plantas y se ha clonado una colección de genes pertenecientes a diversas rutas metabólicas, lo que permite a los grupos de las diferentes líneas de investigación su utilización para abordar las preguntas científicas desde puntos de vista moleculares. En otra área de esta línea, nuestro trabajo sobre el estudio de las virosis ha generado colaboraciones con otros grupos de investigación para el establecimiento de estudios cuarentenarios sobre los virus que afectan a los cítricos. Para ello, la UBBMP encabeza una iniciativa multidisciplinaria y multiinstitucional, apoyada con recursos estatales y federales, que ofrecerá a los estados del Sureste datos epidemiológicos para prevenir la aparición de enfermedades virales que pudieran impactar negativamente a este importante recurso agrícola.

A partir de su reestructuración estratégica, en la UBBMP se ha pretendido favorecer el trabajo interdisciplinario. Por ello, desde el año 2003 se concibió el desarrollo de un proyecto estratégico de investigación básica y aplicada, para la caracterización y el ulterior mejoramiento de los recursos genéticos del chile habanero criollo, cultivado en las diferentes regiones geográficas de la Pe-

nínsula. En este proyecto están integrados investigadores de las cuatro líneas de investigación de la Unidad, con la meta de contribuir a la generación de información científica que atienda una de tres áreas estratégicas: 1) creación de un banco de germoplasma de variedades criollas de los estados de la península de Yucatán; 2) el mejoramiento de la producción, y 3) el mejoramiento de la calidad.

Como resultado de estos esfuerzos, la UBBMP ha generado un banco de germoplasma de chile habanero de la península de Yucatán. Por el nivel de caracterización e identificación de las accesiones, basado en 21 descriptores aceptados internacionalmente (IPGRI), y por la determinación que se ha hecho de la huella genética mediante marcadores moleculares, este banco de germoplasma del CICY es el más importante del mundo sobre variedades criollas de chile habanero de la península de Yucatán. Entre las accesiones se cuenta con variedades sobreproductoras y con las variedades de chile habanero más picantes del mundo. Aparte de constituir un importante elemento de resguardo de la riqueza genética de esta especie y la base para el establecimiento de programas de fitomejoramiento, el riguroso trabajo con el que se ha caracterizado esta colección ha permitido identificar entre los materiales del banco a variedades con diferentes ventajas para las necesidades del mercado, como chile en fresco o para el procesamiento de salsas y pastas.

El trabajo académico en la UBBMP es una tarea fortalecida por la práctica diaria en las tres áreas en las que se agrupan los tres indicadores de productividad, a saber, la productividad científica traducida como publicaciones en revistas internacionales indexadas, la formación de recursos humanos de alto nivel y la vinculación con los sectores de la sociedad. De esta manera, una evaluación objetiva de la productividad histórica permite determinar que la UBBMP ha logrado avances sustantivos en las tareas descritas en su misión:

1) **Productividad científica en investigación básica**, evaluada como publicaciones en revistas indexadas y la obtención de financiamiento externo para los proyectos de investigación. La Unidad ha incrementado sostenidamente el número de publicaciones por año y también el factor de impacto de las revistas donde publica, con un valor promedio actual de 2.202. En ambos rubros debe destacarse que ahora con mayor frecuencia, la productividad es sostenida por un número mayor de investigadores.

En el tema del financiamiento, la Unidad ha tenido éxito en la consecución de fondos externos provenientes de fuentes gubernamentales (Fondos Mixtos y Fondos Sectoriales del Conacyt), de fuentes privadas (Fundación Produce Yucatán) y de agencias internacionales (*Third World Academy of Sciences* [TWAS], International Foundation for Science [IFS]). Debe destacarse el hecho de que el porcentaje promedio de la contribución por recursos externos es de más del 90 por ciento, con relación a los recursos fiscales que los grupos de investigación en la UBBMP reciben de la federación como fondo semilla.

2) **Formación de recursos humanos de alto nivel.** El número y la calidad de la docencia, medidos como graduados de Doctorado, se han incrementado progresivamente. En el año 2008 se logró el mayor índice de productividad con la graduación de 12 Doctores en Ciencias, todos ellos con al menos un artículo publicado en revistas internacionales indexadas con arbitraje estricto, lo que asegura que el cien por ciento logre ingresar al Sistema Nacional de Investigadores. Algunos de sus graduados de Doctorado se encuentran laborando en prestigiosas instituciones nacionales como la UNAM (Instituto de Biotecnología, Facultad de Ciencias), la Universidad Autónoma de Yucatán (Facultad de Química, de Ingeniería Química y Centro de Investigaciones Regionales “Hideyo Noguchi”), e internacionales, como la Universidad de Stanford, entre otras.

3) **Vinculación con el sector productivo.** Esto se ha conseguido principalmente a través del programa de investigación sobre chile habanero, aunque en el tema del cafeto también ha existido una cercana colaboración con los productores. El compromiso por la vinculación con los sectores productivos locales se pone de manifiesto, por ejemplo, en que la información científica que la UBBMP ha generado tiene un importante papel para sustentar la denominación de origen “Chile Habanero de Yucatán”, que actualmente aplica a todos los municipios del Estado de Yucatán. Debe hacerse notar que en la dinámica de este programa se ha favorecido el acercamiento con los productores sin descuidar las otras dos tareas básicas.

En la UBBMP existe un compromiso indeclinable con la calidad académica. Por ello, los elementos adversos del entorno deberán ser analizados bajo la noción de ventanas de oportunidad. La renovación y actualización de su infraestructura, el incremento en las colaboraciones, la diversificación en las fuentes de financia-



miento, la internacionalización de su oferta de Posgrado, el compromiso por asimilar el concepto de innovación, constituyen elementos que deberán apoyar el punto unificador de toda actividad que la UBBMP emprenda: mantener activo su compromiso con la búsqueda del conocimiento científico. La eficiencia con la que desarrolle sus programas de investigación repercutirá necesariamente en la mejoría de sus publicaciones, en las mejores oportunidades para sus egresados y en la adecuada aplicación de los conocimientos que se generen, para mejorar directa o indirectamente la calidad de vida de la población.



## La Unidad de Biotecnología

*Sergio R. Peraza Sánchez*

La Unidad de Biotecnología (UBT) fue concebida en 1985 como un Departamento de Biotecnología de la entonces División de Biología Vegetal liderada por el Dr. Manuel L. Robert. En sus inicios, se construyó el Laboratorio de Propagación Clonal y se tuvieron proyectos exitosos vinculados con importantes empresas como Bioquimex y Tequila Herradura. El Dr. Robert dio pasos significativos para la conformación de la UBT en el año de 1997, con la incorporación de cinco investigadores para fortalecer las áreas de Micropropagación Clonal, Fisiología de Plantas Micropropagadas y Marcadores Moleculares. De igual forma, se diseñó el edificio central de la UBT.

Sin embargo, no fue sino hasta julio de 1998 cuando fue creada oficialmente la UBT, teniendo como su primer director al Dr. Jorge Santamaría Fernández. Durante el periodo 1998-2001, se consolidó la construcción del edificio principal que ahora alberga a la mayoría de los laboratorios y oficinas de sus investigadores. De igual forma, se construyó el ahora Laboratorio de Biotecnología Molecular, la adaptación del ahora Laboratorio de Marcadores Moleculares, así como la remodelación de las instalaciones de invernaderos y viveros de la UBT. Para el año 2001, se establecieron las líneas de investigación de la UBT Morfogénesis *In vitro* y Micropropagación, Mejoramiento Genético por Métodos Biotecnológicos y Obtención de Metabolitos Bioactivos. Para ese año, la UBT contaba con un total de 15 investigadores después de la contratación de personal para fortalecer el área de transformación genética de plantas. Se adquirieron equipos para construir bibliotecas BAC y un secuenciador mediante un importante proyecto del Dr. Andrew James del Programa de Plátano y se fortalecieron vínculos con el Instituto Max Planck y con la Universidad de Frankfurt en Alemania; de hecho, un profesor de esta última institución estuvo como profesor invitado por un año en la UBT. Se logró que todos los investigadores culminaran sus doctorados y

que un porcentaje de ellos ingresara al SNI. Se titularon dos estudiantes de doctorado y 10 de maestría.

En el año 2002, el Dr. Carlos Oropeza Salín asumió el cargo de Director de la UBT. En este periodo se construyó y se equipó un laboratorio adicional de Biología Molecular. También se contrataron tres investigadores para fortalecer el área de genómica.

En el año 2005, la Dra. Aileen O'Connor Sánchez ocupó la dirección de la UBT. Durante su período se contrató a cuatro investigadores, uno en el área de Bioinformática que constituye una especialidad imprescindible en la UBT. Se establecieron laboratorios comunes de Biología Molecular y se graduaron 15 estudiantes del posgrado. Una de las fortalezas de la UBT en este periodo fue obtener la titularidad y el dominio de tecnologías de frontera por parte de 21 técnicos académicos.

En abril de 2008 fui designado director de la UBT, fungiendo como tal en la actualidad.

La UBT tiene como misión generar conocimiento científico y desarrollos tecnológicos, así como formar recursos humanos en biotecnología vegetal, que permitan ofrecer soluciones a problemas relevantes del sector farmacéutico y agroindustrial nacional, para contribuir al desarrollo sustentable de nuestro país. La biotecnología no es, en sí misma, una ciencia; es un enfoque multidisciplinario que involucra varias disciplinas y ciencias tales como biología, bioquímica, genética, virología, agronomía, ingeniería, química, medicina y veterinaria, entre otras.

Para un mejor desempeño, la UBT se ha organizado en tres áreas o líneas generales de investigación: 1) Estudios de secuencias de ADN de interés biotecnológico; 2) Sistemas Integrales de Micropropagación, y 3) Biofármacos y Biopesticidas. Cabe recalcar que aun cuando en cada una de estas líneas se emplean metodologías, equipos y conocimientos particulares, existe una propensión creciente a la interacción entre ellas, dada la gran ventaja de su complementariedad para realizar proyectos interdisciplinarios. Dentro de las tres líneas se han establecido siete temas de investigación en concordancia con los proyectos de estudio: 1) Desarrollo de variedades resistentes a patógenos; 2) Desarrollo de variedades tolerantes a estrés abiótico; 3) Desarrollo de marcadores moleculares; 4) Sistemas de producción de proteínas recombinantes; 5) Mejoramiento de tecnologías de propagación clonal *in vitro*; 6) Mejoramiento genético a través de la selección y clonación de mate-

rial élite, y 7) Aislamiento de metabolitos secundarios con aplicación en farmacia y agricultura. Asimismo, varios investigadores de la UBT participan en el Programa Institucional de Bioenergía.

Todos los investigadores de la UBT son responsables o participan en proyectos con financiamiento fiscal, con recursos propios o provenientes del Conacyt y de agencias internacionales, y colaboran entre sí o con pares de otras Unidades del Centro o con instituciones nacionales e internacionales, complementando así sus capacidades de manera integral. También, una parte importante del esfuerzo de colaboración es con el sector productivo, aunque se requiere un mayor desarrollo en el plano de vinculación, ya que en los últimos años el quehacer de los investigadores se enfocó a la formación de recursos humanos y al desarrollo de proyectos de ciencia básica. Hasta el año pasado, la UBT contaba con 46 proyectos con financiamiento externo, de los cuales, nueve fueron identificados con potencial para vinculación y transferencia de tecnología a empresas y cuyos resultados se espera que apoyen al bienestar económico y social de la población del estado de Yucatán y a nivel nacional. Tres de estos proyectos (coco, papaya y agave) se encuentran en etapas más avanzadas y ya están en contacto con empresas y productores locales y nacionales para llevar a cabo la transferencia de tecnología. Los restantes proyectos de la UBT (plátano, orquídeas, algas verdes, plantas de interés farmacéutico y agroquímico) se encuentran en etapas de investigación básica, pero tienen también el propósito de llegar a la consecución de un producto final, un bien o un servicio.

En los últimos años, la UBT ha trabajado para consolidar su planta de investigadores. Así, en abril de 2008 se pudo contratar a un Investigador Asociado en el área de Bionformática para dar apoyo a varios proyectos que involucran el estudio de eventos genómicos y la filogenética y filogeografía de hongos fitopatógenos. En el último año, se ha mantenido un número de 17 investigadores en la UBT, todos con doctorado y perteneciendo al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), siendo el principal objetivo dentro del plan estratégico de la UBT lograr su consolidación e incursión en investigaciones de frontera y obtener financiamiento para la compra de equipo científico y para el mantenimiento y mejora de la infraestructura. Cabe destacar que el avance en la investigación se logra con el apoyo del personal técnico de la UBT, cuyos 25 integrantes están altamente capacitados para realizar experimentos de labora-

torio y tareas de campo, aplicando tecnologías de frontera en los procesos biotecnológicos.

Asimismo, los investigadores participan como profesores en el programa de Posgrado en Ciencias Biológicas del Centro, impartiendo clases, dando asesorías y dirigiendo tesis de estudiantes de Maestría y Doctorado de la opción Biotecnología, quienes actualmente ascienden a 31 y participan activamente en el desarrollo de los proyectos de investigación de sus asesores.

La biotecnología moderna está compuesta por una variedad de técnicas derivadas de la investigación en biología celular y molecular e ingeniería genética, que pueden ser usadas en cualquier industria que utilice células vegetales y animales, o que esté basada en el carbono como energía, en productos químicos y farmacéuticos y en el manejo de residuos o desechos, es decir, tiene un enorme impacto potencial para un amplio número de sectores que involucre la comercialización de organismos vivos o sus productos, cuyo ADN ha sido deliberadamente manipulado.

Actualmente, la UBT realiza investigaciones para el desarrollo de nuevos productos y procesos, utilizando: a) cultivos de tejidos y células en biorreactores para la rápida micropropagación *in vitro* de plantas y su mejoramiento genético en medios sólidos y líquidos (*e. g.* cocotero, agaves, papaya); b) ingeniería de proteínas para la producción de proteínas recombinantes totalmente nuevas a partir de cultivo de algas (*e. g.* *Chlamydomonas reinhardtii*); c) ingeniería genética o tecnología del ADN para el desarrollo de marcadores moleculares para el mejoramiento, identificación y protección de especies de interés socioeconómico (*e. g.* *Agave* sp.); d) genómica estructural y genómica funcional para el desarrollo de nuevas variedades de plantas que presenten resistencia a patógenos y tolerancia a estrés abiótico (*e. g.* plátano, papaya); e) bioinformática, en la que se hace uso de técnicas de computación para la gestión y análisis de datos biológicos, alineación de secuencias de ADN, predicción de genes, montaje del genoma, alineamiento y predicción estructural de proteínas y modelado de la evolución, enfocándose en el análisis filogenético y filogeográfico del hongo *Mycosphaerella fijiensis* en campos de cultivos plataneos y en la metagenómica del acuífero de la península de Yucatán, y f) aprovechando las propiedades medicinales y pesticidas de algunos metabolitos secundarios, con el objetivo de contribuir al conocimiento del potencial químico y biológico de la diversidad vegetal y microbiana de la región. En esta última parte, se trabaja

en la búsqueda biodirigida de metabolitos con actividad antimicrobiana, antioxidante, antiprotozoaria, antituberculosa, citotóxica, fitotóxica, herbicida, insecticida, ixodida y nematocida, así como de aquellos que presentan interacciones planta-patógeno (fitotoxinas y fitoprotectores) y planta-insecto. Lo anterior, permitirá encontrar nuevos modelos de estudio u organismos de los cuales se podrán obtener productos agroquímicos, farmacéuticos y medicinales con gran valor para la humanidad.

Con las técnicas de la biotecnología moderna, es posible producir con mayor rapidez nuevas variedades de plantas con características mejoradas, con tolerancia a condiciones adversas, con resistencia a herbicidas y produciendo metabolitos en mayores cantidades. Asimismo, se pueden resolver problemas de enfermedades causadas por hongos, virus y bacterias y controlar malezas con procesos genéticos en vez de utilizar métodos químicos.

La UBT, desde su concepción en 1998 en el CICY, tradicionalmente ha enfocado recursos humanos, capacidades científicas y tecnológicas y conjuntado esfuerzos en proyectos que puedan solucionar problemas, sobre todo en el sector agrícola, seguido por el sector salud, medio ambiente y biodiversidad, pero poco o nada ha incursionado en investigaciones con aplicación al sector pecuario, o al ambiente marino y acuicultura. Lo anterior es probable que se haya debido a que existen mayores demandas en los primeros sectores que en los últimos para la resolución de problemas reales y actuales, que a su vez son resultado de los hábitos alimentarios, prácticas agrícolas, plagas y condiciones climáticas de ésta y otras regiones del país. Al parecer, si se toman en cuenta las crisis económicas que ha atravesado —y atraviesa— el país, el crecimiento demográfico, los recursos naturales con que contamos y la vasta superficie que conforma México, todo indica que la dirección que seguirá la UBT en materia de investigación será en los sectores agrícola y farmacéutico.

La región sureste y otras partes de México requieren de la biotecnología para participar en la revolución de los métodos de producción agrícola que predominan en los países industrializados y que son esenciales para controlar características vegetales complejas en la creación de nuevas variedades de plantas o en la domesticación de especies de importancia para la alimentación, como la papaya, el plátano, el coco, el achiote, los chiles, los cítricos y los agaves. En particular, la UBT cuenta con los elementos humanos y las herramientas esenciales para ofrecer soluciones

concretas para el control de enfermedades y para imponernos a políticas agresivas de protección de la propiedad intelectual, por medio de patentes, ante otros países que pretenden adueñarse de nuestra biodiversidad. Nuestros actuales proyectos están enfocados en el ámbito de la biología molecular que atienden diversos campos de investigación, entre los que destacan la propagación *in vitro* de plantas, el mejoramiento genético y la relación de la planta con sus patógenos, y en el futuro, varios proyectos estarán orientados a la caracterización genómica sistemática del mayor número de genes posible de especies vegetales y microorganismos de hábitats hasta ahora no estudiados y a la identificación de su función biológica, con el apoyo de la bioinformática. Asimismo, la UBT tiene la capacidad para seguir estableciendo vínculos con empresas nacionales y consorcios multinacionales con el objetivo de promover la industria biotecnológica en la agricultura, como lo ha hecho en el pasado con ejemplos tan exitosos como el del agave y el cempasúchil, especies que fueron mejoradas por métodos de clonación, selección y establecimiento de líneas parentales para la producción de materiales de alto rendimiento por encargo de las compañías Tequila Herradura y Bioquimex, respectivamente.

La UBT seguirá viendo nuestra biodiversidad vegetal nacional como un valioso reservorio de riqueza que hay que atender, pues la actividad humana, el cambio climático y la sobreexplotación han provocado alteraciones sustanciales en las propias especies silvestres y en las domesticadas. Pondrá especial atención en los objetivos fundamentales de la agricultura sustentable; apoyará en el equilibrio entre la producción agrícola, la conservación de la biodiversidad y la bioseguridad, y promoverá el desarrollo de tecnologías y prácticas que incrementen la productividad, detengan la degradación, resguarden y restablezcan la biodiversidad, y permitan aprovechar los recursos genéticos nativos. Los aspectos que seguirá considerando para aumentar la seguridad y la soberanía alimentarias serán los factores abióticos como sequía, altas temperaturas, salinidad y falta de nutrientes; factores bióticos, fundamentalmente, enfermedades y plagas que afectan a las plantas; la bioinformática, para el análisis de secuencias genómicas; la genómica funcional, para el entendimiento de la función de cada uno de los miles de genes que contiene un genoma determinado; la transformación genética de especies vegetales de interés económico y social; el uso de plantas y microorganismos para la producción de proteínas y metabolitos de interés industrial, y marca-



dores moleculares para programas de mejoramiento de especies forestales y frutales.

A pesar de que las investigaciones de la UBT han estado tradicionalmente dirigidas al sector agrícola desde sus inicios, con la necesidad fundamental que tiene México para el desarrollo de fármacos para la cura de enfermedades que representan un problema de salud pública, tales como hepatitis, tuberculosis, gastroenteritis viral, paludismo, fiebre tifoidea, leishmaniasis, giardiasis, cáncer y enfermedades cardiovasculares, respiratorias e infecciosas que continúan siendo una causa importante de morbilidad y mortalidad entre la población infantil y de escasos recursos económicos, en la actualidad varios investigadores están realizando esfuerzos por obtener sustancias terapéuticas a partir de fuentes naturales, principalmente de plantas nativas de la región que han tenido un uso tradicional milenario entre la población indígena marginada que no tiene acceso a la medicina occidental. Con estos estudios se ha logrado confirmar la capacidad curativa de varias especies vegetales al aislarse los metabolitos responsables de su actividad biológica. Dichas especies servirán como nuevos modelos de estudio para el descubrimiento de las vías metabólicas y los genes específicos asociados a la elaboración de dichos metabolitos mediante el análisis de su genoma, lo que permitirá manipular su producción masiva en sistemas de biorreactores o mediante propagación clonal.

Cabe recalcar que con la biotecnología moderna se tienen mejores oportunidades en las áreas de diagnóstico médico, prevención y tratamiento de las enfermedades. En un futuro, la UBT deberá realizar investigaciones encaminadas a desarrollar e innovar la tecnología médica, como se hace en los países más avanzados en donde se producen vacunas y proteínas recombinantes de interés terapéutico, se desarrollan métodos de diagnóstico y se diseñan fármacos, para minimizar la grave dependencia que nuestro país tiene del exterior para la obtención de medicamentos.

Es importante resaltar que en México ha habido reconocidos avances en el campo de la biotecnología y que la UBT ha contribuido a éstos y seguirá haciéndolo. La biotecnología es un valioso instrumento que ofrece una variedad de recursos y conceptos cuya aplicación permitirá entender nuestro entorno y mejorarlo, y específicamente, resolver los problemas concretos con que se enfrentan los sectores agrícola y farmacéutico de nuestro país.



## Unidad de Recursos Naturales

*Rafael Durán García*

La Unidad de Recursos Naturales se ha desarrollado de manera paulatina y de forma sostenida durante los últimos 15 años. Hoy en día cuenta con 18 investigadores, todos ellos con doctorado, 11 de los cuales son titulares y 7 asociados. De igual forma se ha consolidado la planta de técnicos que apoyan las actividades de investigación, docencia y difusión que se realizan en la Unidad; a la fecha se cuenta con el apoyo de 22 técnicos, de los cuales 14 son titulares, 7 son asociados y sólo uno es auxiliar.

La estructura actual de la Unidad contempla tres grandes líneas de investigación: Sistemática y Florística; Ecología y Manejo de Recursos Vegetales Tropicales, y Diversidad y Evolución de Recursos Filogenéticos, en torno a las cuales se desarrollan, además, las actividades de formación de recursos humanos y difusión del conocimiento científico.

En la línea de Sistemática y Florística se desarrollan investigaciones sobre la flora regional, la biogeografía de determinados grupos, familias o géneros, así como sobre la sistemática y filogenia de los grupos de plantas Neotropicales que habitan en la región. En Ecología y Manejo de Recursos Vegetales Tropicales se desarrollan estudios ecofisiológicos y de dinámica poblacional de determinadas especies y géneros, del efecto del calentamiento global sobre las especies de plantas nativas, estudios acerca de la sucesión y regeneración de ecosistemas terrestres, sobre la dinámica del paisaje, así como sobre el conocimiento, uso y manejo tradicional de los recursos naturales. Finalmente, en la línea de Diversidad y Evolución de Recursos Filogenéticos se realizan estudios con un enfoque molecular, etnobotánico e histórico de la domesticación de plantas cultivadas de Mesoamérica, sobre la diversidad de los recursos fitogenéticos presentes en la región, así como en evolución de plantas bajo manejo y selección humanos. Estas líneas nos permiten abordar estudios autoecológicos, sine-

cológicos y funcionales para entender la situación de los recursos naturales de la región.

La Unidad de Recursos Naturales cuenta, además, con cuatro áreas de apoyo a las actividades académicas y de vinculación: el Jardín Botánico Regional *Xiitbal neek'* del CICY es uno de los más importantes en la Península por su representatividad y por sus programas de Educación Ambiental y Propagación de plantas nativas; el Herbario CICY se encuentra entre los 10 herbarios más importantes del país y contiene una de las colecciones de plantas más importantes del sureste de México, la cual constituye una herramienta básica para los programas de investigación y desarrollo; las Colecciones de Germoplasma han crecido en importancia y hoy en día en el CICY se concentra el reservorio de genes de cocotero y agaves más importantes del país, mismos que son de gran trascendencia para impulsar programas de mejoramiento genético; el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica es donde se apoyan estudios ecológicos a nivel geográfico y ha sido de gran importancia en la formulación de los ordenamientos ecológicos que se han desarrollado en la región, así como para apoyar las iniciativas de conservación en las Áreas Naturales Protegidas.

Durante los últimos años, el quehacer de la Unidad de Recursos Naturales ha tenido por objetivo fundamental contribuir a la conservación, el aprovechamiento y el manejo sustentable de los recursos naturales de la Península de Yucatán y Mesoamérica, a través de la investigación científica, el desarrollo de tecnologías apropiadas, la difusión del conocimiento y la formación de recursos humanos, en las áreas de estudio que cultivamos.

Las aportaciones de los miembros de la Unidad de Recursos Naturales al desarrollo de políticas públicas en el Estado y la región han sido altamente significativas. Durante años hemos participado activamente en el desarrollo de los Programas de Manejo de las Área Naturales Protegidas de la región, documentando la riqueza vegetal contenida en ellas y caracterizando sus distintos tipos de vegetación. Se participó de forma muy importante en la elaboración del Atlas de Procesos Territoriales en Yucatán, herramienta fundamental en el desarrollo de los posteriores Ordenamientos Territoriales. A través de la coordinación del Estudio sobre la Diversidad Biológica del Estado de Yucatán y las múltiples aportaciones al conocimiento de diversos grupos biológicos, se ha contribuido de manera sustancial al desarrollo de la Estrategia Estatal de Biodiversidad en Yucatán. De igual forma, el desarrollo

del Atlas de Escenarios y los estudios enfocados a documentar el cambio climático en la Península de Yucatán nos han permitido contribuir de forma significativa al desarrollo de la Estrategia Estatal de Cambio Climático.

Sin duda, los años por venir serán de desarrollo y crecimiento de la Unidad. La importancia de los recursos naturales y el conocimiento de la riqueza biológica serán fundamentales para aspirar al desarrollo regional sustentable. De manera particular, se abren interesantes expectativas para los investigadores miembros de la Unidad para impulsar, en el marco del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico de Yucatán (Siidetey), una serie de proyectos estratégicos relacionados con el conocimiento de la riqueza biológica de la región y de los procesos ecológicos y evolutivos que le han dado origen (Museo de Historia Natural), así como con la conservación, el manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos vegetales (Banco de Germoplasma de Especies de Importancia Agroecológica, Medicinal y Forestal). Además, el desarrollo del Sistema de Información Geográfica (SIG) y el conocimiento de la dinámica del paisaje en diferentes áreas de la Península nos permiten contribuir al desarrollo de modelos de ordenamiento territorial y a apoyar nuevas formas de apropiación y manejo de los recursos.

En materia de difusión y vinculación con la sociedad, el Jardín Botánico Regional con sus múltiples colecciones taxonómicas, ecológicas y biogeográficas, así como el proyecto de Educación Ambiental con sus herramientas didácticas y metodológicas, nos permiten estar en condiciones de brindar a la sociedad un importante cúmulo de información sobre el funcionamiento de los ecosistemas naturales de la región, su riqueza biológica y los procesos ecológicos y evolutivos que en ellos ocurren, con lo cual queremos aspirar a desarrollar una sociedad más informada, consciente y sensible ante la problemática ambiental de nuestros días. De manera particular, cabe señalar dos proyectos que se acercan, de mediano y largo plazo, a desarrollar como parte de las aportaciones del Jardín Botánico: el desarrollo del Parque Arqueoecológico de Anicabil, ubicado en los terrenos de Ciudad Cuncul, donde se pretende desarrollar un área verde que permita la conservación de los vestigios arqueológicos de la zona, así como la conservación de la flora y la vegetación del área, en un contexto de desarrollo urbano con sentido ambiental. El otro proyecto corresponde al desarrollo del Jardín Botánico del Parque Científico

Tecnológico del Siidetey, donde se pretende conservar la flora regional y desarrollar colecciones de plantas vivas de diversos usos que conformen el paisaje natural donde se establecerán instalaciones y laboratorios, y que además sean fuente de germoplasma para contribuir al mejoramiento de las prácticas productivas del campo yucateco.

Sin duda, durante los últimos años, los proyectos de investigación desarrollados en el seno de la Unidad, además de las contribuciones académicas y logros de cada uno de los grupos de investigación, nos han permitido alcanzar un nivel de conocimiento de los recursos naturales de la región y una serie de capacidades técnicas, que hoy en día podemos poner a disposición de los diferentes sectores de la sociedad yucateca. Además, se ha alcanzado un grado de madurez académica que nos permite contribuir de manera importante a la formación de recursos humanos que permita el desarrollo y formación de nuevos cuadros para la conservación y manejo de los recursos naturales.

## Unidad de Materiales

*Manuel Aguilar Vega*

Después del periodo de consolidación en los últimos diez años, durante el cual la Unidad de Materiales creció en forma significativa en el número de investigadores y técnicos de investigación, ya que comenzó con seis investigadores, no todos ellos con doctorado, además de que sólo tres pertenecían al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), en la actualidad se tiene una planta académica con 15 investigadores y tres ingenieros de desarrollo, de los que sólo uno no pertenece al SNI. El personal técnico ha evolucionado también, pasando de ocho técnicos con nivel de licenciatura o menos, a 16 técnicos, la mitad con grado de Maestro en Ciencias con un nivel alto de especialización. En el transcurso de este tiempo, se ampliaron y diversificaron los diferentes enfoques de los trabajos de investigación dentro de la Unidad, y se aumentó en forma considerable la participación de los investigadores en los programas de posgrado del Centro. En este último rubro, los investigadores de la Unidad de Materiales participan de forma muy significativa en los dos posgrados que se han abierto recientemente en el Centro.

En particular, su personal ha adquirido, mediante los trabajos de investigación realizados, una considerable experiencia y renombre a nivel nacional en sus líneas de especialidad: materiales compuestos de matriz polimérica, materiales compuestos para aplicaciones especializadas, procesamiento de polímeros y materiales para sistemas de energía. Las líneas de investigación de propiedades mecánicas en polímeros y materiales compuestos con fibras naturales, con las que comenzó la Unidad, se han extendido de su enfoque original a considerar otros materiales similares, como son materiales compuestos con fibras artificiales y materiales estructurados mediante el desarrollo de estructuras de formas complejas, tipo sándwich con diferentes configuraciones. También se realizan trabajos de investigación y desarrollo de materiales compuestos con nanopartículas de diferentes tipos. En este último tema, se desarro-

lla investigación que va desde la obtención de las nanopartículas de diferentes fuentes, hasta la preparación y pruebas de desempeño, en la búsqueda de los materiales con las propiedades óptimas para diferentes aplicaciones. Otra área de desarrollo en esta línea la constituyen los estudios sobre modelos para determinar la relación entre la estructura y las propiedades mecánicas de los materiales compuestos, donde se intenta ampliar el conocimiento para predecir y diseñar, sin necesidad de un largo número de experimentos materiales con las propiedades mecánicas necesarias para una aplicación determinada. Dentro del horizonte de nuevos desarrollos en esta línea se vislumbra de especial importancia los materiales preparados a partir de biopolímeros (o polímeros naturales) como celulosa, lignina y las fibras naturales de henequén y coco, los cuales sitúan a la Unidad en una posición de ventaja para continuar los trabajos sobre materiales compuestos, o derivados de ellos, obtenidos de biopolímeros de fuentes naturales, en las cuales se presentan amplias oportunidades para impactar, debido a la ventaja competitiva que da la experiencia de haber realizado durante largo tiempo en la Unidad estudios sobre estos biopolímeros. En la caso de materiales compuestos, una nueva fuente de innovación es la incorporación de materiales biodegradables como sustitutos de las matrices y fibras en materiales compuestos, que ahora usan sistemas no degradables, como resinas sintéticas, que compitan en forma favorable con este tipo de materiales.

En la línea de materiales para aplicaciones especializadas, el grupo se ha situado como uno de los referentes nacionales y con impacto internacional por sus trabajos de investigación en biomateriales para aplicaciones médicas, que presentan nuevos horizontes para su desarrollo. En particular, los trabajos de investigación que se realizan sobre cementos acrílicos, materiales para sistemas cardiovasculares y soportes para crecimiento de tejidos, han permitido desarrollar una base teórica y práctica muy sólida, para entender las propiedades que estos materiales deben de poseer y cómo diseñarlos para que puedan utilizarse como apoyo para resolver problemas de salud. Además, dada la experiencia de la planta de investigación con la que se cuenta actualmente, se tienen conocimientos para incursionar en sistemas de matrices de liberación controlada de fármacos y otros productos químicos para aplicaciones, por ejemplo, en agricultura, como liberación controlada de fertilizantes y nutrientes. Existe la oportunidad de diseñar nuevos biomateriales que tengan una mayor capacidad para interaccionar con el cuerpo humano a diferentes niveles, principalmente



basados en los conocimientos o la preparación de monómeros nuevos que eliminen los problemas de rechazo que se encuentran con los actuales. Una fuente interesante para estos monómeros es el conocimiento existente en el Centro sobre el manejo y la composición de sistemas vegetales y materiales vegetales modificados, con los cuales tenemos oportunidad de realizar proyectos interdisciplinarios con las otras Unidades del Centro que permitirían ampliar el número de monómeros disponibles para aplicaciones médicas. Otras oportunidades para investigación y desarrollo de monómeros nuevos pueden surgir de esta búsqueda, ya que los nuevos monómeros a partir de aceites naturales y de otras fuentes renovables vegetales pueden aplicarse en la preparación de polímeros biodegradables, que son la siguiente frontera para lograr un equilibrio ecológico y evitar la dependencia actual tan marcada en los monómeros obtenidos de fuentes no renovables, y que se degradan a muy largo plazo. Estos monómeros de próxima generación se pueden obtener a partir de microorganismos, o modificaciones de material vegetal por métodos genéticos, y/o por una cuidadosa selección de especies naturales productoras de resinas, como el zapote, con posibilidades de ser modificadas por métodos biotecnológicos como sustitutos para la producción de polímeros con propiedades similares o mejoradas a las que se tienen actualmente a partir de derivados del petróleo, en particular, biodegradabilidad. Estos trabajos permitirán una interacción transversal con las otras Unidades del Centro dedicadas a los estudios vegetales, y darán como resultado nuevos productos especializados que apoyarán el desarrollo regional y nacional.

Dentro de los trabajos de investigación, ha avanzado notablemente la preparación de polímeros de ingeniería y de alta especialización como materiales estructurados núcleo coraza y polímeros de ingeniería con alta resistencia a la temperatura o propiedades mecánicas. La generación de conocimiento en estos materiales sitúa a la Unidad en una posición de ventaja en el área con aplicaciones en diferentes especialidades, y al menos en el área de membranas para separaciones y en la síntesis de materiales de ingeniería, se le reconoce como un referente a seguir en el país. Se ha trabajado con materiales de alta especialidad para separación de gases y líquidos a temperaturas altas, donde ya se tienen estudios completos y bases de datos sobre familias de polímeros y la relación entre la estructura y las propiedades de separación de gases y su dependencia con la estructura. Se han desarrollado materiales de diferente naturaleza para aplicaciones en diversos procesos. Se

abren expectativas para tratamiento de aguas por medio de membranas a diferentes niveles, y dada la importancia que tendrán estos procesos en el futuro, se estima que se debe hacer una concentración en el desarrollo de materiales para tratamiento de agua, tales como membranas para ósmosis reversible, membranas iónicas para eliminación de dureza en el agua, materiales para eliminar residuos orgánicos y nuevos procesos de tratamiento usando polímeros. Otra vertiente que adquiere importancia es la del desarrollo de materiales especializados para sistemas alternativos de energía, que requieren de los materiales poliméricos con propiedades específicas para celdas de combustible PEM y de metanol, o para la separación de agua y otros contaminantes que se encuentra en procesos de obtención de bioetanol o biodiesel.

En la línea de procesamiento de polímeros, la Unidad se ha concentrado fuertemente en procesos de reciclado de desechos poliméricos y en la preparación de materiales con propiedades eléctricas, mediante mezclas por métodos conocidos o modificados, buscando procesos ambientalmente amigables. Así, se han desarrollado una serie de materiales a partir de diversos procesos de reciclado, como el de envases de cartón para líquidos, del cual se tiene un registro de marca: Tablapack, materiales compuestos con fibras de henequén, cargas inorgánicas y polímeros de reciclado para sistemas de construcción, madera plástica a partir de residuos de madera y corteza vegetal con polímeros reciclados y sin reciclar. También se han desarrollado materiales con polímeros conductores que tienen propiedades antiestáticas y materiales cargados con partículas conductoras para sistemas de conducción de electricidad especializados como capacitores y platos bipolares. Dadas las necesidades crecientes de reciclaje en nuestro entorno y el conocimiento desarrollado en estos proyectos, la investigación deberá orientarse cada vez más hacia sistemas integrales de reciclado, donde se propongan, en conjunto con las instancias adecuadas, materiales para construcción de vivienda adaptada a las necesidades del entorno, sistemas de reciclaje y aprovechamiento integral de residuos plásticos con otros residuos sólidos orgánicos, como por ejemplo, las fibras desechadas en proceso de producción de tequila o mezcal, o desechos inorgánicos susceptibles de utilizar para reforzar los materiales. Otra área importante será el desarrollo de una consultoría de procesos en polímeros para apoyar a la planta productiva nacional en la mejora de sus procesos, y por ende, en su competitividad.

La línea de materiales para sistemas de energía se concentra en procesos para obtener energía por métodos no tradicionales o energías alternativas. Ésta, al ser una línea de muy reciente creación, ha logrado integrarse en forma vertical y transversal de una manera muy importante, ya que usa el conocimiento generado en — y sus trabajos tienen el potencial de ser apoyados por— otras Unidades que conforman el Centro, y no sólo se concentra en gran medida dentro de la Unidad de Materiales. Dada la importancia de la búsqueda de nuevas fuentes de energía que sustituyan las actuales (obtenidas a partir de fuentes no renovables) y que sean ambientalmente aceptables, la investigación se ha concentrado en obtener biocombustibles, como biodiesel y bioetanol a partir de diversas fuentes vegetales: aceites de diferentes semillas, algas o fermentaciones de material orgánico vegetal. Los resultados han llevado a implementar metodologías que permitirán en su momento estudiar las posibilidades de diversas fuentes orgánicas para producir biocombustibles y la escala en la que éstos se pueden producir. Por otro lado, se ha trabajado intensamente en el desarrollo de materiales para celdas de combustible del tipo de hidrógeno y bacterianas, para la producción de energía por medio de celdas tipo electrolito de membrana polimérica (PEM, por sus siglas en Inglés) y de metanol (DMFC, por sus siglas en Inglés). En ambos casos se han desarrollado materiales como platos bipolares, capacitores, electrodos, ensamblajes para celdas de hidrógeno y celdas microbianas que obtienen estas últimas la energía a partir de desechos orgánicos agrícolas y urbanos. Los pasos siguientes en investigación se deberán concentrar en proyectos de sistemas híbridos para la obtención de energía, como el uso de energía solar y energía eólica acoplada a celdas de combustible, o como complemento para procesos de obtención y uso de biocombustibles. La investigación en biocombustibles se deberá orientar a la siguiente generación de biocombustibles, a partir de alcoholes con tres y cuatro carbonos hasta llegar, posiblemente, a seis o siete carbonos para producir combustible con un mayor poder energético, utilizando celulosa u otros materiales naturales. También deberá orientarse a una nueva generación de métodos de obtención y almacenamiento de hidrógeno que faciliten la disponibilidad y su manejo para hacerlo tan ubicuo como las gasolinas actuales, y facilitar el uso de celdas de combustible.

El nuevo enfoque de investigación multidisciplinario de la Unidad debe aumentar su capacidad de respuesta para resolver los retos que plantea la sociedad en su área de especialidad.



# Unidad de Ciencias del Agua: el agua y la investigación científica

*Mario Rebolledo Vieyra*

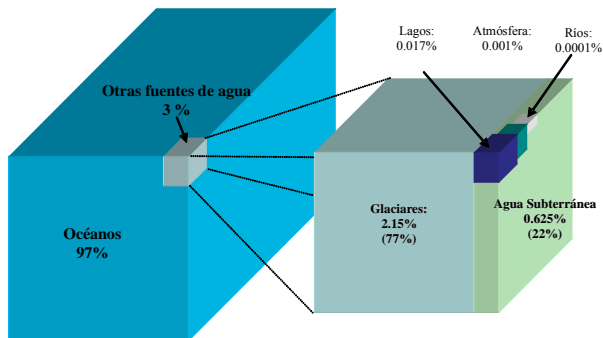
La Organización de la Naciones Unidas (ONU), en la Declaración del Milenio, estableció entre sus objetivos erradicar el hambre y la pobreza, así como garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Para cumplir con estos objetivos es necesario garantizar el acceso al agua, en cantidad suficiente y de buena calidad a la población en general.

## **La investigación científica y el agua**

Durante los últimos 10 años, el norte de la península de Yucatán, ha sido de objeto de una intensa actividad de la comunidad científica internacional, la cual se ha volcado sobre una de las estructuras geológicas más interesantes en el planeta: el cráter de Chicxulub. La investigación alrededor del cráter ha generado conocimiento del más alto nivel sobre esta porción de la península de Yucatán; sin embargo, este conocimiento no se ha integrado en su totalidad para entender y estudiar el acuífero del norte de Yucatán. Si bien la comunidad científica de Yucatán ha realizado importantes esfuerzos para comprender cómo funciona el acuífero del norte de Yucatán, para sentar las bases técnicas y científicas para su correcta administración (Escolero *et al.*, 2000; Marín *et al.*, 2000); son pocos los estudios que consideran la estrecha relación entre el cráter de Chicxulub y la hidrogeología del norte de Yucatán (Rebolledo-Vieyra *et al.*, en prensa; Perry *et al.*, 2009; Marín *et al.*, 2005; Perry *et al.*, 1995;González-Herrera, 1994).

En la actualidad, el reto de la comunidad científica de la región radica en profundizar, el conocimiento del sistema acuífero en esta región de la península de Yucatán, con especial énfasis, desde nuestro punto de vista, en lo siguiente: 1) estructura cárstica y su relación con el cráter de Chicxulub; 2) determinación de parámetros hidrológicos, como función de la estructura cárstica; 3) distri-

bución temporal y espacial de la intrusión salina; 4) caracterización espacial del suelo y su relación con la calidad del agua; 5) caracterización microbiológica del acuífero, y 6) caracterización de las descargas de agua subterránea en la costa del norte de Yucatán.



**Figura 1.** Distribución global del agua. Los porcentajes entre paréntesis se presentan con base en el total del agua dulce global. Modificado de UNESCO (2006).

Por su parte, los estados de Campeche y Quintana Roo representan un reto aún mayor, toda vez que la investigación, no sólo en temas del agua, se encuentra en etapas incipientes. A diferencia del norte Yucatán, es necesario conocer las características del sistema cárstico de Quintana Roo (Tulaczyk *et al.*, 1993); mientras que en Campeche, la geología de la región es distinta al resto de la Península, pues cuenta con cuerpos de agua superficiales, a diferencia del norte y oriente de la Península. En los tres estados que conforman la península de Yucatán, es necesario implementar proyectos de investigación enfocados a una problemática científica, económica y social diferente.

El 1 de Septiembre del 2009, por acuerdo de la comunidad, el Centro para el Estudio del Agua (CEA), cambió de nombre por el de Unidad de Ciencias del Agua (UCIA), la cual ha planteado como parte de su quehacer responder las preguntas derivadas de los puntos mencionados. Dentro de su estrategia, el CEA ha establecido alianzas con instituciones nacionales (UNAM, Tecnológico de Cancún), extranjeras (Universidad Ben Gurion, Israel; Universidad de Kent, EE.UU.; Universidad de Arhus, Dinamarca), instancias de gobierno federales (Comisión Nacional del Agua, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) y estatales (Secretarías de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente de Yucatán y de Quintana Roo).

En este sentido, el 5 de junio de 2008, el CEA firmó un convenio de colaboración con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente de Quintana Roo, para la creación de la "Reserva

Hidrogeológica para el Norte de Quintana Roo”, proyecto desarrollado por el CEA que ha sido herramienta fundamental para el diseño del Plan de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Solidaridad, Quintana Roo.

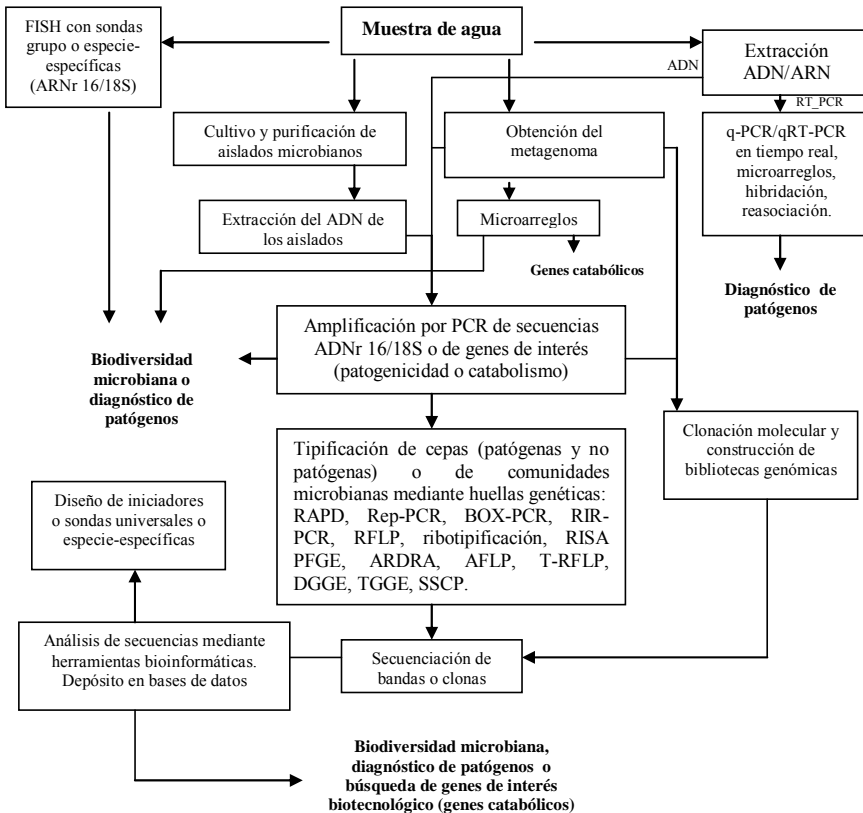
### **Calidad Sanitaria del Acuífero de Quintana Roo**

Uno de los mayores problemas que enfrenta la población mundial es el abasto de agua, en cantidad suficiente y de buena calidad. La OMS (1997) ratifica el hecho de que la calidad del agua tiene grandes repercusiones sobre la salud pública, debido a que existe un gran número de enfermedades infectocontagiosas o tóxicas transmitidas por este medio, algunas de las cuales son causadas por patógenos emergentes.

En el caso específico del estado de Quintana Roo, el desequilibrio de los ecosistemas costeros aumenta, debido a la naturaleza cárstica de la región. La alta permeabilidad y la porosidad secundaria del medio favorece una rápida infiltración del agua y de contaminantes provenientes principalmente de fosas sépticas, lixiviados de basureros a cielo abierto y asentamientos humanos irregulares, que impactan directo sobre el acuífero.

En la última década, el crecimiento urbano, la desmedida e incontrolada actividad turística y el desarrollo de los sistemas productivos de la región han ocasionado que las áreas costeras de Quintana Roo sean consideradas dentro de las más vulnerables del país. Se halla amenazada su gran diversidad ecológica y riqueza de ambientes iconos que presenta (arrecifes coralinos, playas, cenotes, manglares y su sistema de ríos subterráneos) (Beddows, 2004). Por otra parte, los estudios de calidad sanitaria del agua en el acuífero norte de Quintana Roo se limitan a la evaluación y el monitoreo de indicadores microbiológicos estándar (bacterias coliformes y enterococos). Los estudios que se realizan en el Centro para el Estudio del Agua han sido los primeros en detectar patógenos microbianos mediante herramientas moleculares (Fig. 2). Estudios recientes, han revelado la presencia de *Vibrio parahaemolyticus* (*tdh*<sup>+</sup> y *trh*<sup>+</sup>), *V. vulnificus* (*viuB*<sup>+</sup>) y *V. cholera* no toxigénico (*ctxA*<sup>-</sup>) en áreas recreativas del Estado. Se ha indicado la predominancia de *V. parahaemolyticus* (total y potencialmente patogénico) en cenotes de la región; también se ha sugerido que estos ambientes constituyen un reservorio para esta especie (Hernández-Zárate *et al.*, 2009; Hernández-Zárate y Monroy-Ríos, 2008, Hernández-Zárate *et al.*, 2008). La dominancia de *V. parahaemolyticus* también ha sido

observada en el agua de lastre de buques que ingresan a la zona (Hernández-Zárate, 2008). Con relación a esto, es de importancia realizar monitoreos continuos y de forma permanente en la región debido a la explotación turística, el fenómeno de intrusión salina, así como los efectos del cambio climático en la presencia y dispersión de enfermedades (Harvell *et al.*, 2002).



**Figura 2.** Herramientas moleculares empleadas para evaluar la biodiversidad microbiana, la calidad sanitaria y la identificación de microorganismos y/o genes con potencial biotecnológico en ambientes acuáticos.

## Conclusión

La Organización de las Naciones Unidas, en la declaración del Milenio del 2000, estableció como objetivo el fin a la pobreza extrema



que sufren uno de cada seis seres humanos en nuestro planeta, y que esta meta se puede obtener para el año 2015 si se puede garantizar el acceso a agua limpia y comida para todos. Es por ello que el sector académico tiene un gran e importante compromiso para con la sociedad, ya que para alcanzar estos objetivos, es necesario contar con la información técnica y científica de la más alta calidad, que permita a los diferentes sectores, tanto social, como gubernamental, e incluso, industrial, tomar decisiones, crear políticas y estrategias que permitan garantizar la conservación y, por ende, el abasto de los recursos hídricos de cada región.

En el Centro para el Estudio del Agua hemos aceptado, con toda la responsabilidad y compromiso, el reto que representa realizar investigación en temas del agua y estamos seguros que en el corto, mediano y largo plazos, el CICY cumplirá a cabalidad su compromiso con la sociedad y el medio ambiente, adoptando una posición de vanguardia en la investigación relacionada con la correcta administración de los recursos naturales y la conservación del medio ambiente.

## Referencias

- Beddows, P. A. 2004. Groundwater Hydrology of a Coastal Conduit Carbonate Aquifer: Caribbean Coast of the Yucatán Peninsula. México. Ph. D. Thesis. School of Geographical Sciences, University of Bristol, UK. 240 pp.
- Escolero, O. A., L. E. Marin, B. Steinich, J. Pacheco. 2000. Delimitation of a hydrogeological reserve for a city within a karstic aquifer: The Merida, Yucatan example. *Landscape and Urban Planning*. 51 (1). pp. 53-62.
- Gonzalez Herrera, R. 1994. Consideration concerning solute transport in the Yucatan region: a conceptual model [Consideraciones acerca del transporte de solutos en Yucatan. Modelo conceptual]. *Ingeniería Hidráulica en México*. 9 (3). pp. 73-79.
- Harvell, C. D., C. E. Mitchell, J. R. Ward, S. Altizer, A. P. Dobson, R. S. Ostfeld, M. D. Samuel. 2002. Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial and Marine Biota. *Science*. 296 (5576). pp. 2158-2162.
- Hernández-Zárate, G. 2008. Calidad Bacteriológica y Estudios Biomoleculares. Informe Técnico. *En: Velázquez-Olimán, G. y R. M. Leal-Bautista. Reportes Finales 2007 y 2008. Programa de Monitoreo de Calidad Ambiental para Agua de Lastre y Dársena en CALICA*. 150 pp.
- Hernández-Zárate, G. y E. Monroy-Rios. 2008. Estudio preliminar de la presencia de *Vibrio* spp. Total y Patogénico en ambientes acuáticos del Corredor Turístico Cancún-Tulum, Quintana Roo, México. XV

- Congreso Nacional de Oceanografía y II Reunión Internacional de Ciencias del Mar. 13 al 18 de octubre de 2008, Boca del Río, Veracruz, México. Resumen en Extenso. Aceptado.
- Hernández-Zárate, G., J. E. Zamora-Castro, R. M. Leal-Bautista, G. Velázquez-Olimán y E. Monroy-Ríos. 2008. Detección por PCR de *Vibrio parahaemolyticus*, *V. vulnificus* y *V. cholerae* (Total y Patogénico) en cenotes del Noreste de Quintana Roo, México. Tercer Congreso Internacional sobre Agua y Desastres en la Frontera México-Guatemala-Belice. 3 al 5 de diciembre de 2008, Villahermosa, Tab., México. Resumen en Extenso. Sometido.
- Hernández-Zárate, G., J. E. Zamora-Castro y E. Monroy-Ríos. 2009. Calidad sanitaria del agua en áreas recreativas del estado de Quintana Roo, México: Una detección oportuna de patógenos para prevenir problemas de salud pública. Primera Reunión de la Red Temática del Agua- Conacyt -CRIM-UNAM. Investigación y Agua en México. 21 al 23 de enero de 2009, Yauhtepec, Mor., México. Resumen en Extenso. Sometido.
- OMS. 1997. Guidelines for Drinking-Water Quality. Vol. 3. Surveillance and control of community supplies. 2<sup>nd</sup> ed. World Health Organization. Switzerland.
- Perry, E., A. Paytan, N. Pedersen, G. Velazquez-Oliman. 2009. Groundwater geochemistry of the Yucatan Peninsula, Mexico: Constraints on stratigraphy and hydrogeology. *Journal of Hydrology*. 367 (1-2). pp. 27-40.
- Perry, E., L. Marin, J. McClain, G. Velazquez. 1995. Ring of Cenotes (sinkholes), northwest Yucatan, Mexico: its hydrogeologic characteristics and possible association with the Chicxulub impact crater. *Geology*. 23 (1). pp. 17-20.
- Rebolledo-Vieyra, M., L. E. Marín, A. Trejo-García, J. Urrutia-Fucugauchi and V. L. Sharpston. The Chicxulub Impact Crater and its Influence on the Regional Hydrogeology in Northwest Yucatan, Mexico. En: Buster, N. and C. W. Holmes, (eds.). *Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota*. Vol. 3. *Geology*, GSA Special Volume. En prensa.
- Tulaczyk, S. M., E. C. Perry, C. E. Duller, M. Villasuso. 1993. Influence of the Holbox fracture zone on the karst geomorphology and hydrogeology of northern Quintana Roo, Yucatan Peninsula, Mexico. *Applied karst geology*. Proc. 4<sup>th</sup> conference on sinkholes and the engineering and environmental impacts of karst. Panama City. pp. 181-188.
- UNESCO. 2006. *Water a Shared responsibility*. The United Nations Development Report 2. UNESCO. Paris, France. pp. 601.

# Perspectivas para la Investigación en el CICY

*Inocencio Higuera Ciapara*

La investigación científica es la razón de ser de una institución como el CICY. De ella se derivan los otros objetivos para los cuales fue creada: la formación de recursos humanos de alta especialización, la vinculación con los diferentes sectores para transferir el conocimiento generado y la difusión de dicho conocimiento y de su relevancia para la sociedad. En la Segunda Parte de esta obra, los investigadores han presentado los proyectos de investigación más importantes que se han realizado durante los primeros 30 años de historia del CICY. En muchos casos, más que proyectos individuales y de corto plazo, han sido Programas de Investigación de largo plazo en los cuales se han articulado esfuerzos sistemáticos que han abordado aspectos complementarios de un cuestionamiento científico o de un problema específico. En este capítulo, se presenta una reflexión conceptual sobre la importancia de los procesos transdisciplinarios en el futuro de la investigación en el CICY.

Sin duda, la evolución y el comportamiento del mundo contemporáneo demanda ser abordado, para su análisis científico comprehensivo, desde el pensamiento de la complejidad y la investigación con un enfoque transdisciplinario. La transdisciplinariedad puede definirse como un proceso de intercambios entre diversos campos y ramas del conocimiento científico, en los que unos transfieren métodos, conceptos, términos e incluso cuerpos teóricos enteros hacia otros, los cuales son incorporados y asimilados por la disciplina importadora, induciendo así un proceso contradictorio de avance o retroceso del conocimiento, característico del desarrollo de las ciencias. Por ejemplo, la convergencia de conocimientos de un conjunto de disciplinas involucradas en el estudio de sistemas socioambientales complejos ha generado un proceso de intercambio teórico, metodológico, y conceptual. De igual manera, la relevancia de la inter y transdisciplinariedad para la investigación en los campos de la biología moderna, la ecología, la ciencia de los materiales, las fuentes alternas de energía y las

ciencias del agua se hace cada vez más evidente. Para ello basta con analizar los nuevos campos emergentes de la nanobiotecnología, la electrónica flexible, la tribología y otros. En México, sin embargo, el hecho de abordar procesos complejos que involucran una gran heterogeneidad de niveles tecnológicos, influencias diferenciadas de política económica, entre otros aspectos, hace de las líneas de investigación en el CICY, un terreno fértil para la práctica de la transdisciplina.

En este aspecto, la valoración del conocimiento, la capacidad científica y técnica y las habilidades profesionales por parte de la sociedad repercuten en las orientaciones que adopta el trabajo académico en los centros de investigación. Entre otros elementos, el prestigio social asignado al investigador, los estímulos y obstáculos al desarrollo de líneas temáticas dentro de los paradigmas dominantes en cada disciplina, las demandas explícitas de profesionales en el mercado de trabajo, el sentido de participación en el proceso de producción y transmisión del conocimiento, las aspiraciones de ascenso social por la adquisición de títulos y competencias profesionales, así como la remuneración y las posibilidades de realización personal en el trabajo intelectual y docente, producen un conjunto de motivaciones y frustraciones que influyen en la organización de los programas de enseñanza y de investigación, cuyo impacto es menester evaluar para poder avanzar en la dirección de la verdadera transdisciplina. Aún así, es importante reconocer que en fechas recientes las diversas Convocatorias emitidas por Conacyt (Fordecyt, Redes Temáticas, Laboratorios de Investigación o Desarrollo Tecnológico) tienden a privilegiar el abordaje inter y trans-disciplinario, así como los proyectos de largo aliento y alto impacto.

Existe, además, otro tipo de problemática relacionada a la definición de líneas de investigación ya que si bien es cierto que ésta debe responder a prioridades de orden nacional, la libertad de investigación, con criterios de beneficio regional o de investigación básica, no debiera ser soslayada. En la época actual existe un amplio reconocimiento de la importancia de la articulación de la investigación y la innovación con el sector productivo y social para el avance de la economía, la competitividad y el bienestar social. No obstante y como ha sido señalado por notables intelectuales en numerosas ocasiones, el problema suele no ser la falta de conocimiento, sino comprender que hacer con él, cómo proceder para su apropiación correcta, así como para encaminarlo a

una mayor utilidad no sólo económica sino social y cultural. Por lo tanto, con el propósito de impulsar y fortalecer la inter y transdisciplinariedad en la investigación que se realiza en una institución como el CICY, es urgente y necesario establecer las bases y los mecanismos institucionales que permitan instrumentarla, de manera tal que las distintas disciplinas, con su diversidad de métodos y tradiciones, puedan ser desplegadas al mismo nivel y valoración para que con su aportación particular se enriquezca el producto de conjunto. En este sentido, el potencial del cuerpo académico del CICY para la realización de investigación de frontera —a 30 años de su fundación— es crucial, por lo que como primer paso se requiere de una revisión permanente de sus proyectos y líneas de investigación. Esto, en razón de que la evolución de la ciencia tiene un enorme dinamismo, y día a día, nuevos campos y nuevas metodologías se presentan en las áreas del conocimiento que el CICY ha cultivado. De las seis áreas prioritarias definidas por en el Plan Estatal de Desarrollo (2007-2012) para Yucatán, al menos en cuatro de ellas se desarrollan en el CICY y esto debe permitirnos plantear proyectos que vayan desde la investigación fundamental hasta desarrollos tecnológicos, sin olvidar los aspectos de la transferencia a los usuarios en el marco de las nuevas Leyes y lineamientos expedidos por las instancias oficiales y los cuerpos colegiados que norman la vida institucional. Estas áreas son Agua, Hábitat, Alimentación y Energía.

En el tema “Agua” se tiene la Unidad de Ciencias del Agua (antes llamada Centro para el Estudio del Agua) que opera desde el 2005 con muy buenos resultados y que aborda la problemática de una manera integral, desde la identificación y cuantificación de reservas hidrogeológicas, hasta la calidad química y microbiológica del agua para consumo humano. En el tema “Energía” tenemos un grupo multidisciplinario que ha empezado a consolidarse en temas de gran importancia como son el aprovechamiento de la tecnología del hidrógeno y la bioenergía. Recientemente, este grupo ha logrado un importante reconocimiento como líder en la conformación del Laboratorio de Energías Renovables del Sureste, que formalmente iniciará operaciones el año entrante gracias al apoyo del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (Fordecyt).

En el tema “Alimentación” el CICY tiene una larga tradición estudiando diferentes especies vegetales de interés agronómico y alimentario con un enorme potencial para el sureste mexicano:

papaya, chile habanero, achiote, cocotero, plátano, cítricos, agaves, etc.

En el tema “Hábitat”, que incluye un profundo conocimiento del ambiente, los académicos de la Dirección de Recursos Naturales han logrado un reconocimiento nacional e internacional por sus proyectos relacionados con la conservación y la educación ambiental, entre otros temas. El apoyo a la iniciativa para el “Desarrollo de un Banco de Germoplasma para la Conservación y Manejo de la Diversidad Biológica de interés Agroecológico, Medicinal y Forestal presente en el área Maya” constituirá un hito en la vida institucional y representa un claro ejemplo de planteamientos integrales, basados en una plataforma científica construida a lo largo de muchos años y cuya relevancia para el futuro es incuestionable.

Asimismo, los científicos e ingenieros expertos en materiales podrán hacer importantes aportaciones en este campo, como el desarrollo de materiales compuestos para viviendas ecológicas, el reciclado de materiales poliméricos y el desarrollo de materiales para aplicaciones de alta especialidad.

El otro eje de corte mundial que recibe amplio financiamiento y en el que se ha puesto especial énfasis en la institución incluye al cambio climático. En este eje, el CICY también está muy bien posicionado para seguir realizando contribuciones que —sobre bases científicas bien establecidas— orienten la toma de decisiones en temas como la mitigación de riesgos por desastres naturales o las políticas de desarrollo urbano en áreas de gran dinamismo como la Riviera Maya.

Los investigadores visionarios y bien consolidados deberán continuar aprovechando las ventanas de oportunidad de los ejes antes mencionados, que por primera vez se abren tan claramente para apoyar la ciencia. El cambio climático, por ejemplo, impacta a los seres vivos en las más diversas formas y así surgen aspectos relacionados con adaptaciones fisiológicas, la sanidad animal o vegetal, como son la influenza para los humanos o el ataque de virus y bacterias que si no se controla terminará con la citricultura regional. Los académicos del CICY se han sumado a atender frontalmente estos retos porque tienen los elementos y la capacidad.

El futuro demanda transdisciplinariedad para realizar nuestra labor: investigación básica y aplicada, formación de recursos humanos con una sólida formación científica y a la vez sensibles a

las necesidades del entorno social y económico del país, vinculación con los diversos sectores sociales, transferencia tecnológica y de conocimientos, así como esfuerzos continuos a favor de la divulgación y difusión de nuestro trabajo. Esta integralidad deberá de convertirse en nuestra forma habitual de desempeño en los años venideros.





## Índice onomástico


AGUILAR VEGA, MANUEL	
42. <i>Unidad de Materiales</i>	377
Director Unidad de Materiales (1998-2002; 2003-2009)	
ALPIZAR CARRILLO, LUCELY	
37. <i>El CICY: piedra angular en la reactivación de la actividad henequenera del Siglo XXI</i>	343
Área de Vinculación CICY	
ALZATE GAVIRIA, LILIANA	
31. <i>Bioenergía</i>	301
Profesora-Investigadora Unidad de Materiales	
CANCHÉ ESCAMILLA, GONZALO	
17. <i>Los materiales compuestos y la Unidad de Materiales</i>	169
Profesor-Investigador Unidad de Materiales	
CARNEVALI FERNÁNDEZ-CONCHA, GERMÁN	
18. <i>El Herbario CICY</i>	179
Curador Herbario CICY	
22. <i>Bromelias y Orquídeas</i>	215
Profesor-Investigador Unidad de Recursos Naturales	
CASTILLO MORA, LUIS, DEL	
3. <i>El inicio</i>	17
Director fundador del CICY (1980-1990)	
CAUICH RODRÍGUEZ, JUAN VALERIO	
28. <i>Biomateriales para aplicaciones médicas</i>	279
Profesor-Investigador Unidad de Materiales	
CERVANTES UC, JOSÉ MANUEL	
28. <i>Biomateriales para aplicaciones médicas</i>	279
Profesor-Investigador Unidad de Materiales	
COLUNGA GARCÍAMARÍN, PATRICIA	
11. <i>Agaves, frijol y agricultura maya.</i>	113
Profesora-Investigadora Unidad de Recursos Naturales	
13. <i>Jardín Botánico Regional del CICY</i>	139
Directora Jardín Botánico Regional (1986-1991)	

CRUZ RAMOS, CARLOS	
6. <i>Química Aplicada y la División de Química</i> Jefe Departamento Química Aplicada (1980-1988)	51
DURÁN GARCÍA, RAFAEL	
29. <i>Biodiversidad</i> Profesor-Investigador Unidad de Recursos Naturales	287
41. <i>Unidad de Recursos Naturales</i> Director Unidad de Recursos Naturales	373
ESCALANTE ESTRELLA, JAVIER ENRIQUE	
33. <i>Historia del Laboratorio de Metrología CICY</i> Miembro fundador del Laboratorio de Metrología	315
ESCALANTE REBOLLEDO, SIGFREDO	
13. <i>Jardín Botánico Regional del CICY</i> Curador Jardín Botánico Regional	139
32. <i>El Vivero de Plantas Nativas del Jardín Botánico Regional del CICY</i> Curador Jardín Botánico Regional	309
ESCOBEDO GRACIA MEDRANO, ROSA MA.	
24. <i>Historia de la investigación de 1990 a 2009 en CICY sobre Musa ssp. y Mycosphaerella</i> Profesora-Investigadora Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas	241
FRANCO TORIZ, VERÓNICA	
35. <i>El programa de Educación Ambiental del CICY</i> Encargada del Programa de Educación Ambiental del Jardín Botánico Regional	325
GAMBOA ANGULO, MARCELA	
15. <i>Esteroides</i> Profesora-Investigadora Unidad de Biotecnología	153
GODOY HERNÁNDEZ, GREGORIO	
25. <i>Achiote (Bixa orellana L.)</i> Profesor-Investigador Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas	251
GUS PELTINOVICH, LEONARDO	
15. <i>Esteroides</i> Jefe de Instrumentación	153
HERRERA FRANCO, PEDRO J.	
10. <i>El Posgrado en el CICY (periodo 2003-2009)</i> Director Académico CICY (2003-2009)	101

HIGUERA CIAPARA, INOCENCIO	
<i>Presentación</i>	IX
Director General CICY	
36. <i>La Vinculación en el CICY</i>	333
Director General CICY	
44. <i>Perspectivas para la investigación en el CICY</i>	389
Director General CICY	
JAMES KAY, ANDREW	
24. <i>Historia de la investigación de 1990 a 2009 en CICY sobre Musa ssp. y Mycosphaerella</i>	241
Profesor-Investigador Unidad de Biotecnología	
LARQUÉ SAAVEDRA, ALFONSO	
8. <i>El CICY en el período 1998-2008</i>	77
Director General CICY (1998-2008)	
30. <i>El Centro para el Estudio del Agua y su labor</i>	295
Director General CICY (1998-2008)	
38. <i>La participación del CICY en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán</i>	349
Director Siidetey	
LOYOLA VARGAS, VÍCTOR M.	
9. <i>La creación del Posgrado en Ciencias y Biotecnología de Plantas del CICY. Un punto de vista personal</i>	87
Coordinador Posgrado CICY (1993-1997)	
12. <i>El estudio de Catharanthus roseus como base para la formación de nuevos investigadores</i>	121
Profesor-Investigador Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas	
23. <i>Café del CICY para el campo. Una historia</i>	227
Profesor-Investigador Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas	
LUNA KAN, FRANCISCO	
1. <i>Una mirada retroactiva al Yucatán del henequén</i>	3
Gobernador de Yucatán (1976-1982)	
ONDARZA VIDAURRETA, RAÚL N.	
2. <i>El Conacyt, los primeros centros de investigación, en particular, el CICY</i>	11
Funcionario de Conacyt (1971-1982)	

ORELLANA LANZA, ROGER	
4. <i>Estudios Ecológicos y Regionales</i>	31
Miembro fundador del Departamento de Ecología	
13. Jardín Botánico Regional del CICY	139
Miembro fundador y director del Jardín Botánico Regional (1981-1986; 1994-2002; 2009)	
21. Estudios realizados con palmeras	205
Profesor-Investigador Unidad de Recursos Naturales	
OROPEZA SALÍN, CARLOS	
16. <i>Programa de investigación sobre amarillamiento letal y cocotero</i>	159
Profesor-Investigador Unidad de Biotecnología	
PEÑA RODRÍGUEZ, LUIS MANUEL	
19. <i>La investigación en química de productos naturales en el CICY</i>	187
Profesor-Investigador Unidad de Biotecnología	
PERAZA SÁNCHEZ, SERGIO R.	
40. <i>La Unidad de Biotecnología</i>	365
Director Unidad de Biotecnología	
PÉREZ BRITO, DAISY DE LA C.	
34. <i>El Grupo de Estudios Moleculares Aplicados a la Biología</i>	321
Jefa Laboratorio GeMBio	
PONCE MARBÁN, DONNY VÍCTOR	
33. <i>Historia del Laboratorio de Metrología CICY</i>	315
Coordinador Laboratorio de Metrología	
RAMÍREZ MORILLO, IVÓN M.	
22. <i>Bromelias y Orquídeas</i>	215
Profesora-Investigadora Unidad de Recursos Naturales	
REBOLLEDO VIEYRA, MARIO	
30. <i>El Centro para el Estudio del Agua y su labor</i>	295
Director CEA (2003-2009)	
43. <i>Unidad de Ciencias del Agua: el agua y la investigación científica</i>	383
Director CEA (2003-2009)	
RIVERA MADRID, RENATA	
25. <i>Achiote (Bixa orellana L.)</i>	251
Profesora-Investigadora Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas	

ROBERT, MANUEL	
5. <i>El cultivo in vitro para el mejoramiento de la productividad de las plantaciones de henequén: uno de los primeros objetivos del CICY</i>	41
Miembro fundador del Departamento de Biotecnología	
7. <i>1990-1998 Una retrospectiva personal</i>	65
Director General CICY (1990-1998)	
14. <i>Veinticinco años de altibajos en la investigación sobre Agave tequilana para la industria tequilera</i>	145
Profesor-Investigador Unidad de Biotecnología	
20. <i>Mejoramiento genético del cempasúchil: El desarrollo de líneas clonales sobreproductoras</i>	195
Profesor-Investigador Unidad de Biotecnología	
ROMERO HICKS, JUAN CARLOS	
<i>Prólogo</i>	V
Director General Conacyt	
SANTAMARÍA FERNÁNDEZ, JORGE M.	
26. <i>Programa de investigación y transferencia de tecnología de papaya</i>	259
Profesor-Investigador Unidad de Biotecnología	
SANTANA BUZZY, NANCY	
27. <i>Chile Habanero (Capsicum chinense Jacq.)</i>	269
Profesora-Investigadora Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas	
SMIT, MASCHA A.	
31. <i>Bioenergía</i>	301
Profesora-Investigadora Unidad de Materiales Coordinadora Programa Institucional de Bioenergía y Coordinadora Maestría en Ciencias en Energía Renovable	
ZIZUMBO VILLARREAL, DANIEL	
16. <i>Programa de investigación sobre amarillamiento letal y cocotero</i>	159
Profesor-Investigador Unidad de Recursos Naturales	
ZUÑIGA AGUILAR, JOSÉ JUAN	
39. <i>Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas</i>	357
Director Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas	

 **CICY:**  
**treinta años de labor**  
**científica y educativa**

Se terminó de formar digitalmente en el mes de marzo de 2010 en:

Enlace Institucional CICY

Calle 43 # 130, Colonia Chuburná de Hidalgo,

C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México.

Tel. (999) 942-8330.

La versión digital se hizo en Adobe Acrobat 9 Pro



ISBN: 978-607-7823-04-9



9 786077 823049