



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**El cultivo de tejidos vegetales al rescate de la industria
henequenera: los inicios del Centro de Investigación
Científica de Yucatán, México (1975-1990)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G A
P R E S E N T A:**

DANIELA SANTAMARÍA JIMÉNEZ



**DIRECTOR DE TESIS:
Dra. Edna María Suárez Díaz**

Ciudad Universitaria, Ciudad de México. 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Santamaría
Jiménez
Daniela
53 95 35 36
Universidad Nacional Autónoma de
México
Facultad de Ciencias
Biología
311206191

2. Datos del tutor

Dra.
Edna María
Suárez
Díaz

3. Datos del sinodal 1

Dra.
Gisela Tamhara
Mateos
González

4. Datos del sinodal 2

Dra.
Vivette
García
Deister

5. Datos del sinodal 3

Dr.
Eduardo Alberto
Pérez
García

6. Datos del sinodal 4

M. en C.
Laura Patricia
Olguín
Santos

7. Datos del trabajo escrito

El cultivo de tejidos vegetales al rescate
de la industria henequenera:
los inicios del Centro de Investigación
Científica de Yucatán, México (1975-
1990)
89 p
2019

Esta tesis fue elaborada gracias al Proyecto PAPIIT IN401017 "Ciencia y tecnología a través de las fronteras: tensiones y sinergias de la asistencia técnica en México en la segunda mitad del siglo XX".

Agradecimientos académicos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme una formación crítica desde que ingresé a la Escuela Nacional Preparatoria “Pedro de Alba” y darme las herramientas para convertirme en bióloga por la Facultad de Ciencias.

A mi tutora, la Dra. Edna Suárez Díaz, por impulsar mi interés en la historia de la biología durante el primer semestre de la carrera y, años más tarde, durante las clases en el taller donde aprendí muchísimo, al igual que con la elaboración de este trabajo. Por su apoyo, consejos y, sobre todo, su paciencia.

A la Dra. Gisela Mateos González, quien también ha sido una guía para mí desde el taller y me ha brindado su apoyo desde entonces, por revisar y comentar este escrito. Han sido muy valiosas sus enseñanzas.

A la Dra. Vivette García Deister, por darse el tiempo para revisar y comentar este trabajo, y por su apoyo.

Al Dr. Eduardo Pérez García por darme sus comentarios, correcciones y su opinión sobre esta tesis.

A la M. en C. Patricia Olgún Santos, por el entusiasmo con que recibió esta tesis y sus consejos para mejorarla.

Al Dr. Raúl Ondarza Vidaurreta quien amablemente contestó y aclaró algunas de las dudas que surgieron durante la elaboración de este trabajo, sobre la creación del CICY y el CONACyT.

Agradecimientos personales

A mi mamá, Concepción Jiménez Navarrete, y mi papá, Raymundo Santamaría Valtierra[†], tan queridos para mí, por ser mi modelo a seguir de superación personal y siempre motivarme a alcanzar mi potencial.

A mi tío Dolores, mi tía Mel, mi tía Marta, y mi abuelita María[†]. Por enseñarme el valor de la perseverancia, por creer siempre en mí y por su cariño incondicional.

A mis hermanas mayores Magdalena, Sara y Beatriz que han estado siempre conmigo en buenos y malos momentos, compartiéndome consejos y que también han sido un ejemplo a seguir. A mis sobrinos Sofía y Rodrigo.

A Silvana, Blanquita, Cindel, Ariel, Ricardo e Ian por ser los mejores amigos que haya podido desear y mucho más. Todos han sido un pilar en mi vida, y ha significado mucho para mí su inmenso apoyo. Sin ustedes no lo hubiera logrado.

A mis amigos del laboratorio de cultivo de tejidos vegetales del Jardín Botánico. Paola, Alan, Jorge, Ivonne, Jocelyn, Alejandro y Diana. Por los consejos, compañía y las risas que hicieron mi estancia más placentera.

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de Estudios de la Ciencia y la Tecnología. Por recibirme con los brazos abiertos.

A Ana, Paulina e Ivi; Brenda y Hanna; Monse, Leslie, Caro, Ilse, Nelson, Gustavo y Rickys; a Uriel, Jesús y Mónica; a Lupita, Leo, Ericka y Sofy. Por su amistad.

A mi pequeña labrador, Brunhilda, por iluminar mi vida.

Contenido

| | |
|--|-----------|
| Introducción..... | 1 |
| Capítulo 1: El oro verde de México | 5 |
| <i>Agave fourcroydes</i> : la biología básica del Henequén | 5 |
| Importancia cultural | 8 |
| Desigualdad social | 10 |
| Importancia política..... | 13 |
| El oro verde..... | 16 |
| Conclusión: | 20 |
| Capítulo 2: El prometedor cultivo de tejidos vegetales..... | 21 |
| De la investigación básica a la aplicada..... | 22 |
| Obtención de metabolitos secundarios | 33 |
| Mejoramiento genético | 35 |
| Propagación <i>in vitro</i> | 38 |
| Conclusión..... | 40 |
| Capítulo 3: El Centro de Investigación Científica de Yucatán | 42 |
| Institucionalización de la ciencia en México: del CNESIC al CONACyT. | 43 |
| El CICY..... | 53 |
| La micropropagación de <i>Agave fourcroydes</i> y el cultivo de tejidos vegetales en México | 57 |
| Conclusión..... | 63 |
| Consideraciones finales..... | 64 |
| Referencias..... | 69 |
| Generales..... | 69 |
| Capítulo 1..... | 70 |
| Capítulo 2..... | 74 |
| Capítulo 3..... | 80 |

Introducción

Agave fourcroydes, el henequén, fue conocido por mucho tiempo como “el oro verde”: una fuente de grandes ingresos económicos para el estado de Yucatán, y el causante de un enorme impacto en la estructura social y el desarrollo económico de ese estado del sureste mexicano. Así pues, es difícil hablar de la historia de Yucatán sin hablar del henequén. Sin embargo, pese a su importancia económica y cultural, es notable la ausencia de estudios de historia de la ciencia sobre esta planta.

Sobre la relación histórica entre agricultura y ciencia en nuestro país, la literatura se ha centrado principalmente en el tema de la Revolución Verde (Fitzgerald, 1986; Cullather, 2004; Matchett, 2006; Harwood, 2009; Curry, 2017), y en menor medida en los antecedentes de los estudios fitotécnicos y genéticos del maíz en el trabajo del agrónomo Edmundo Taboada (Barahona Echeverría y Gaona Robles, 2001). Probablemente este enfoque hacia la Revolución Verde se deba, por una parte, a que ésta tuvo un impacto a nivel internacional. El objetivo del programa de fitomejoramiento en México, llevado a cabo en conjunto con Estados Unidos con el apoyo de la Fundación Rockefeller, era obtener variedades resistentes de maíz y trigo a condiciones desfavorables. Se esperaba lograr la autosuficiencia alimentaria en países poco desarrollados y así disminuir el hambre a nivel mundial. Además, existen muchos archivos disponibles de la Fundación Rockefeller que han sido la base de estos estudios. Por otro lado, la historia de la ciencia como disciplina es reciente en nuestro país, y no abundan aún los estudios que no se centren en biografías o en la historia de las instituciones científicas en México.¹

Poco se ha escrito acerca de la influencia que ha tenido algún producto agrícola para el desarrollo científico en el país, fuera de la genética vegetal que se toca en los mencionados trabajos. Una excepción es el trabajo de Gabriela Soto Laveaga (2009), quien ha estudiado no sólo la explotación y comercialización del barbasco en la cuenca del Papaloapan, sino sobre todo el papel que jugaron los campesinos en el conocimiento de la planta y el desarrollo de los métodos de extracción de los compuestos químicos relevantes,

¹ Otro tipo de acercamientos a la historia de la ciencia en México, por ejemplo, son los estudios sobre los instrumentos de medición corporal y geográfica (Cházaro, 2008; Cházaro, 2009), los estudios médicos y científicos sobre las razas (Cházaro, 2011; López-Beltrán y García Deister, 2013), y los trabajos sobre la nuclearización en México (Mateos y Suárez-Díaz, 2015; Mateos y Suárez-Díaz, 2016).

y también en sembrar el germen de los estudios fisiológicos y la industria farmacéutica nacional. En efecto, la recuperación de hormonas a partir de productos de origen animal (como la orina) era de bajo rendimiento, y cuando se descubrió que a partir del tubérculo de *Dioscorea composita* se obtenían grandes cantidades de diosgenina (una sapogenina precursora de la progesterona) varias empresas farmacéuticas nacionales e internacionales comenzaron sus operaciones en México. Entre 1940 y mediados de la década de 1970 el barbasco fue la materia prima para la producción global de hormonas esteroideas sintéticas.² La extracción exhaustiva del barbasco interesó y preocupó a quienes aprovechaban el tubérculo sobre sus reservas naturales y se fundó una comisión que se dedicó a la investigación de *Dioscorea*, con el fin de conocer el ciclo de vida, la distribución, su domesticación, entre otros aspectos. Asimismo, los barbasqueros adquirieron conocimiento acerca de esta especie en la medida en la que se involucraban con el procesamiento del tubérculo y se convirtieron en personajes importantes al transmitir su conocimiento empírico a los científicos (Soto Laveaga, 2009). El trabajo de Soto Laveaga, por tanto, abrió la posibilidad de contemplar la industria mexicana del barbasco como resultado de una compleja red de intereses políticos locales y federales, comerciales y científicos, incluyendo actores generalmente desconocidos para la historia de la ciencia, como los campesinos, y modificando la narrativa tradicional de la historia de los anticonceptivos (Marks, 2001).

Por otra parte, la historiadora cubana Leida Fernández Prieto (2013) ha explorado la participación de América Latina y el Caribe en la creación y circulación del conocimiento científico agrícola. Esta autora ha desarrollado la idea de que las áreas de producción agrícola se pueden ver como “islas del conocimiento” al estar relacionadas con la creación, adopción y aplicación de procedimientos científicos. También menciona que estos desarrollos coinciden con la consolidación y declive del modelo exportador agrícola de América Latina y el Caribe de los siglos XIX y XX, pues la expansión de la producción de bienes tropicales requirió la introducción y la adopción de nuevo conocimiento científico y agrícola, para que los productores pudieran competir en el mercado internacional. Como ejemplo, Fernández Prieto se refiere al caso del azúcar en Cuba, pues por petición de los hacendados para industrializar su producción, ingenieros extranjeros importaron con ellos

² Posteriormente gracias a este producto agrícola se desarrolló la píldora anticonceptiva (Soto Laveaga, 2009).

la maquinaria a vapor que permitiría a la isla posicionarse como productor número uno de este bien agrícola a nivel internacional. La “intervención” de la ciencia aplicada en Cuba fue la respuesta de diferentes actores al problema de la competencia entre productores, entre otras cosas, por lo que es muy importante rescatar de Fernández Prieto, que:

“La construcción y diseminación del conocimiento debe ser analizado como un proceso de aprendizaje y negociación, en el cual se involucran muchos actores – actores tanto institucionales como privados, con diferentes niveles de entrenamiento, motivaciones, expectativas, agendas de investigación, oportunidades de carrera y recursos económicos.”

[Fernández Prieto, p. 791, 2013].

Por lo general, los productos agrícolas suelen colocarse como un factor principal en los procesos socioeconómicos, culturales y políticos, y sus auges hacen posible que los sitios de producción se convirtieran en sitios generadores de conocimiento por lo que estos productos pueden verse también como agentes en la participación de América Latina y el Caribe en la creación y movilización de la ciencia agrícola tropical (Fernández Prieto, 2013).

Yucatán parece compartir las cualidades que caben dentro del modelo que propone Leida Fernández Prieto, porque el declive de la industria henequenera promovió la creación de un centro científico que se dedicaría a investigar a este agave para encontrar una solución que ayudara a recuperar la industria, y pronto se convirtió en una institución referente de la biología vegetal y la agricultura no sólo en nuestro país. El Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), fundado en 1979, no solamente desarrolló un protocolo de propagación *in vitro* de *Agave fourcroydes* que aumentaba su producción, también generó investigación básica sobre la especie y sobre la diversificación de sus usos.

A pesar de que la labor del CICY no fue suficiente para que se recuperara la industria henequenera, en buena parte debido a su creación tardía, éste continuó generando conocimiento local e incluso transnacional. Como resultado, diversos grupos de investigación han contribuido al desarrollo científico en algunas áreas de la fisiología vegetal en Yucatán. El sistema económico, ecológico y cultural de esta región será explorado como una “isla de conocimiento” en este trabajo. Un caso similar, que también podría considerarse bajo el paraguas de “islas de conocimiento” es el ya mencionado de

Soto Laveaga (2009), que se enfocó en la influencia que tuvo el barbasco para el desarrollo científico en la región del Papaloapan.

Es por ello que a lo largo del primer capítulo contextualizaré la importancia de *Agave fourcroydes* (Lemaire, 1864) para Yucatán, ya que después del periodo del auge henequenero, que sólo duró cuarenta años, y ya comenzada la decadencia del mismo, el estado se aferró a su planta nativa, lo que resultó eventualmente en la creación de un centro de investigación científica, tema que se recuperará en el tercer capítulo, que pretendía -al menos esa era la intención manifiesta- recuperar al “oro verde” de México por medio de las técnicas del cultivo de tejidos vegetales que prometían el mejoramiento de especies de interés agrícola y su propagación masiva, como se verá en el segundo capítulo.

Capítulo 1

El oro verde de México

***Agave fourcroydes*: la biología básica del Henequén**

La familia Agavaceae (*sensu* Dahlgren *et al.*, 1985)¹ es endémica de América siendo México el centro de origen y diversificación. Dentro de la familia el género *Agave* es el más diverso, pues agrupa a 206 especies (García-Mendoza, 2011).

Los agaves son plantas xerófitas, perennes, con hojas dispuestas en espiral y arregladas en rosetas en el ápice de un tallo, que puede ser corto, largo y erecto, o puede doblarse y reptar. Las hojas suelen ser suculentas, fibrosas, con formas que van desde linear a lanceolada y ovadas, con una espina al final del ápice; en los márgenes, las hojas pueden presentar una variedad morfológica de dientes córneos que son proyecciones del tejido foliar; el número de hojas varía según la especie y su color puede ser verde, amarillo, rojizo o violeta (García-Mendoza, 2007). Las inflorescencias son racemosas, espiciformes o paniculadas con numerosas ramas de umbelas sobre un pedúnculo semileñoso conocido como quote. Las flores son bisexuales, de color verdoso, amarillento, blanquecino o purpúreo. El fruto es una cápsula seca y las semillas son negras, lunulares, aplanadas y brillantes. La mayoría de los agaves tienen un evento reproductivo único, es decir, producen flores y frutos una sola vez en su vida y mueren, por lo que son organismos monocárpicos (García-Mendoza, 2011). Los agaves se propagan vegetativamente mediante la producción de hijuelos (producidos por rizomas) o bulbillos (pequeñas plantas derivadas de yemas axilares en las ramas de las inflorescencias) (Gentry, 1982; Arzate García, 2009).

El género *Agave* ha estado presente en nuestra cultura desde la época prehispánica hasta nuestros días, cabe mencionar que es en México donde se presenta su máxima expresión morfológica y filogenética por medio de las 159 especies distribuidas (de las cuales 119 son endémicas) (García-Mendoza, 2011).

¹ La familia Agavaceae también ha sido incluida por la Angiosperm Phylogeny Group (APG) dentro de la familia Asparagaceae (APG, 2003). Sin embargo, García-Mendoza y Chávez-Rendón (2013) consideran pertinente utilizar la clasificación de Dahlgren *et al.*, (1985) debido a que los estudios que apoyan la propuesta de la APG no son concluyentes. Asimismo, existen algunos estudios moleculares (Bogler y Simpson, 1995; Bogler y Simpson, 1996) que apoyan que las familias Asparagaceae y Agavaceae son taxa distintos.

No es de extrañar, entonces, que la República Mexicana sea el principal centro de domesticación de los agaves (Álvarez de Zayas, 1989), pues aunado a su abundancia se pueden aprovechar sus estructuras como alimento, bebida, medicina y forraje, en rituales, entre otras cosas, por lo que poseen importancia cultural y económica (García-Mendoza, 2011). Por ejemplo, de *Agave tequilana* se obtiene el tequila del tallo; de *Agave potatorum* se obtiene mezcal, la base de las hojas se usa para aliviar dolencias de pulmón, e incluso es posible consumir el escapo floral de etapa temprana (Delgado-Lemus *et al.*, 2014); y de *Agave fourcroydes* Lem., el henequén, se obtienen fibras duras.²

Agave fourcroydes (Figura 1) crece en suelo pedregoso y pobre en materia orgánica al norte de la península de Yucatán (Peniche Rivero, 1985), tiene un tallo de 1 a 1.7 m de altura, sus hojas son lineares y rectas, rígidas, redondeadas en la base, punteagudas, de 120 a 180 cm de largo por 8 a 12 cm de ancho, su margen es dentado y en el ápice se halla una espina cónica de 2 a 3 cm de color pardo. La inflorescencia es paniculada, mide alrededor de 6 m y es bulbilífera; las flores miden de 60 a 70 mm de largo, con tépalos verde-amarillos (Lemaire, 1864).



Fig. 1. *Agave fourcroydes* Lem. A. Roseta. B. Inflorescencia. Imágenes tomadas y modificadas de www.naturalista.mx

² Según Otero Rejón (2006) el origen de la palabra es incierto, pero puede provenir de: jéniquen del quechua (Perú y Chile); nequén del caribe; hennequin del francés.

Esta especie, como la mayoría de los agaves, tiene en cada módulo un meristemo apical que se diferencia en una inflorescencia al cabo de veinte años, aproximadamente, y posteriormente dicho módulo perece debido a que el evento consume una gran cantidad de energía (Piven *et al.*, 2001). Aunado a esto, las semillas tienen muy bajo porcentaje de germinación (10 %) presumiblemente por su carácter pentaploide (Castorena-Sánchez *et al.*, 1991; Piven *et al.*, 2001). Debido a que es rara la propagación de la especie por semillas ésta ocurre cuando surgen brotes en su rizoma, es decir que su reproducción es por vía asexual. Cabe mencionar que mucha de la investigación básica que se generó sobre este agave fue realizada por el CICY.

Se asume que el henequén fue domesticado por los Mayas en la época prehispánica (de Landa, 1978), a partir de la especie silvestre *Agave angustifolia* (Engelmann, 1875) y debido a la explotación comercial a la que fue sometida durante el *boom* henequenero, ya no existen poblaciones naturales de *Agave fourcroydes* (Colunga-García Marín, 2006). Además, debido a que se ha dado preferencia a la variedad Sac Ki (de la que se obtienen cordeles de mayor calidad y que está mejor adaptada a suelos pedregosos), se ha desplazado a las demás, y por ello se ha erosionado la variabilidad genética de la especie lo cual, probablemente, tendrá un impacto en el futuro evolutivo de ésta.³ Es importante mencionar que la pérdida de biodiversidad también ocurrió con el barbasco, pues alrededor de 1977 ya no podía encontrarse en algunas áreas.⁴ Es decir, que no hubo diferencia entre cultivar una especie y recolectar otra.

Debido a que la especie tiene una menor variación genética, la Dra. Colunga-García Marín ha mostrado la importancia de mantener viva la colección de germoplasma y así fomentar un esquema más amplio de aprovechamiento, “de modo que se propicie la

³ Colunga-García Marín *et al.*, (1996) menciona que se consideran siete variedades en total del henequén: Yaax Ki, Sac Ki, Chucum Ki, Bah Ki, Kitam Ki, Xtuk Ki, y Xix Ki, de las cuales solo quedaban Sac Ki, Yaax Ki y Kitam Ki a finales de 1980. Sin embargo, según estudios de Orellana y colaboradores (1985) sólo Sac Ki corresponde a *Agave fourcroydes*, mientras que Yaax Ki corresponde a *Agave sisalana*, Kitam ki suele confundirse con *Agave angustifolia* pero faltan estudios taxonómicos para determinar la especie, debido a la escasez de individuos (Colunga-García Marín y May-Pat, 1997). Además de dificultar los estudios taxonómicos, la reducción de individuos en las poblaciones reduce su variabilidad genética, y por lo tanto la adecuación de la especie (Herrerías Diego y Benítez-Malvido, 2005). En cambio, mientras más alta sea la variabilidad genética de una especie más probabilidades tiene de adaptarse a cambios en las condiciones ambientales (Keiding, 1991).

⁴ Entrevista llevada a cabo por Soto Laveaga (2009) a M. Santos en 1999.

utilización de todas las variantes, e incluso que impulse eventualmente el desarrollo de más diversidad genética” [Colunga-García Marín, p. 45, 2006].

Importancia cultural

En épocas recientes el producto más valorado que se obtiene de este agave es la fibra. El aprovechamiento del henequén comienza a los siete años. Produce entre 25 y 30 hojas al año, por lo que a lo largo de su vida produce 756 hojas aproximadamente (lo que equivale a 150 kilos de fibra) (Peniche Rivero, 1985). Pero como ya se mencionó, el henequén fue domesticado por los mayas, aunque no se sabe con certeza la antigüedad de su uso (Colunga-García Marín, 2006). Según evidencia antropológica, se usaban sus fibras en la construcción de monumentos, en la pesca, en la caza, como cuerdas o en redes, y en el comercio (Irigoyen, 1950; Ruz, 1981). Otero Rejón (2006) menciona que “utilizando una suerte de torno que giraba con cordeles de henequén” los mayas preparaban las cavidades en algunos de sus dientes, donde se incrustarían la pirita, jadeíta o turquesa; además de sostener las maderas de sus techos de paja, y hacer camastros. En un estudio etnobotánico, la Dra. Colunga-García Marín exploró los usos de *Agave fourcroydes* distintos a la elaboración de cordeles. Por ejemplo, las raíces tienen uso medicinal, y la inflorescencia y la base de las hojas son aptas para consumo humano.⁵

Según la investigadora: “dada la gran diversidad de éstos (usos), pensamos que ello se debe a la escasez de fuentes etnohistóricas y a la pobreza de sus datos, y no al hecho de que no existieran desde la época prehispánica” [Colunga-García Marín, p. 40, 2006]. A pesar de que para los mayas la planta del henequén era útil, no tuvo la misma importancia que el maíz (que llegó a ser deificado) y en consecuencia tampoco tiene una gran presencia en su arte. En realidad la “glorificación” de este agave surgió de los hispano-yucatecos por su importancia comercial (Otero Rejón, 2006). Pese a ello, curiosamente existen dos versiones de una leyenda, que se atribuyen a la cultura Maya, que narra el descubrimiento de las fibras del henequén, si bien su origen en esa cultura se ha puesto en duda. Baqueiro López (2006) especula que probablemente las leyendas tenían como objetivo motivar a los peones mayas a trabajar en sus henequenales.

⁵ Colunga-García Marín (2006) hace énfasis en que el uso de la fibra del henequén es un esquema de aprovechamiento de la agroindustria henequenera, y no de su utilización tradicional.

En la primera versión, se trata de un príncipe que al tropezarse con una roca, preocupó a su séquito, y uno de sus miembros castigó a dicha roca golpeándola con una penca del agave, con lo que quedaron al descubierto las fibras.⁶ En la segunda versión, el hijo del Dios Hunab Ku, Zamná, se pincha con las espinas del agave, y uno de sus acompañantes castiga a la hoja con golpeándola con una roca, dejando así las fibras al descubierto.⁷

Por último, así como Otero Rejón (2006) menciona que *Agave fourcroydes* no fue glorificada por los mayas, se da cuenta de la ironía del “ancestral usuario de la fibra que se volvió esclavo de la planta a la que nunca valoró debidamente”. Misma ironía que parece estar plasmada en el cuento “El Dios Verde”, de Antonio Menéndez González (2006), del cual se muestra un fragmento a continuación:

“Enterado Hunab Ku de todo lo sucedido, con palabras atronadoras y ademanes de gran dios, maldijo a K’tuy por insubordinado. A medida que las palabras eran pronunciadas, el dios irreverente fue perdiendo su prístina blancura y su cuerpo adquiriendo raras proporciones, finas, alargadas y verdes, con ese verdeoscuro de los celos; le brotaron innumerables espinas, hijas del rencor y la envidia y fue condenado a pasar sed en forma de planta y para siempre, por no haber tenido piedad de la sed de los hombres.

Hunab Ku ordenó que de generación en generación, los hombres despedazaran esa planta, el henequén, sacándole el alma y purificándola ante los rayos del sol.

El tiempo fue pasando, pero K’tuy, furioso contra los hijos de los dioses, los hombres, instrumentos de la justicia divina que así le martirizaban, en venganza ofreció su alma a los blancos, recién llegados, a cambio de que destruyeran para siempre a los dioses nativos.

Los blancos aceptaron la ofrenda... aporrearon ferozmente a los dioses, destruyeron sus templos y con el alma de K’tuy fabricaron una gruesa soga, con la que ataron fuertemente a los hijos de la tierra, haciéndolos sus esclavos por muchos soles, por muchos soles.”

[Antonio Menéndez González, p. 57, 2006].

⁶ Posiblemente publicada por Felipe Pérez Alcalá, en 1918. Citada por Baqueiro López (2006).

⁷ Publicada por Gonzalo Cámara Zavala en 1936. Citada por Baqueiro López (2006).

Desigualdad social

El auge del henequén estuvo ligado a la inequidad social, debido a que la riqueza se concentró entre 300 y 400 familias que controlaban la producción de fibras de henequén, especialmente entre 20 y 30, de esas familias, que se auto-denominaron “La Casta Divina” (Ramírez Carrillo, 1994). Estas producían alrededor de un 90 % del total y estaban asociadas a las dos únicas casas exportadoras al mercado internacional (Canto Sáenz, 2001). Mientras tanto, en las haciendas trabajaban esclavos, dentro de un sistema de “deuda” a través del sistema de la tienda de raya (Turner, 1911).

Por un lado, “la burguesía henequenera” como la llama Canto Sáenz (2001) concentraba el poder político y económico. Muchos poseían casas en el extranjero, viajaban mucho, hablaban varios idiomas, enviaban a sus hijos a universidades y escuelas en Europa y Estados Unidos, y vivían en grandes “palacios” en Mérida (Turner, 1911).

“Los amplios salones donde los invitados lucían sus *smokings* y abigarrados vestidos escotados que dejaban ver collares y gargantillas de perlas y piedras finas al ritmo de los valsos y de los *schottich*, eran iluminados por los reflejos de los innumerables cristales de Bohemia de las arañas luminosas que colgaban en los techos”

[Antochiw Kolpa. p. 125, 2006].

Sus haciendas podían compararse con pequeñas ciudades pues podían ser habitadas por 500 a 2500 habitantes. Se sembraba el henequén en un 25 % de la finca, y podían estar conformadas por un almacén, la desfibradora, la casa del administrador, las de los mayordomos, una pequeña capilla, corrales, secaderos de henequén, el establo, la cárcel dormitorio y chozas donde vivían los esclavos y sus familias (mientras que los dueños de las haciendas habitaban en Mérida y visitaban sus tierras de manera ocasional) (Turner, 1911).

Por otro lado, menciona Turner (1911) que los esclavos podían ser indios yaqui (“importados” desde Sonora), chinos, y en mayor proporción indígenas mayas, quienes debían realizar largas jornadas laborales seis días a la semana, con una única comida al día (muy pobre), eran sometidos a castigos físicos crueles si cometían algún error, y en general

su estilo de vida estaba sujeto a la voluntad de su amo.⁸ Entre el trabajo que debían realizar, tenían que limpiar el terreno y además recolectar hojas del agave para intentar cubrir una cuota muy alta (Canto Sáenz, 2001). A continuación, se describe el proceso general de la obtención de fibras y se ilustran algunas de sus etapas (Figura 2).

“Suelen cortarse doce hojas, las más grandes, dejando las treinta más pequeñas [...] el obrero corta la hoja por su raíz, quita las espinas de los bordes; suprime la púa terminal [...]. Las hojas del henequén, una vez cortadas, se llevan a [...] la desfibradora. Esta es una máquina con fuertes dientes de acero que raspan las gruesas hojas, de lo que resultan dos productos: un polvo verde, que es desperdicio, y largas fibras como cabellos de color verdusco [...] La fibra se lleva en un tranvía al secadero [...] Después se prensa en pacas, y pocos días o semanas más tarde, el observador podrá verla en Progreso [...].

[Turner, p. 24, 1911].

John Kenneth Turner obtuvo esta información al hacerse pasar por un rico interesado en invertir en una hacienda henequenera, pues los hacendados le hacían creer a las personas externas “que los 100 mil hambrientos, fatigados y degradados peones eran perfectamente felices y vivían tan contentos con su suerte que sería una verdadera vergüenza otorgarles la libertad y la seguridad que corresponden, en justicia, a todo ser humano.” [Turner, p. 12, 1911]. Sin embargo, y aunque negaban la esclavitud, al momento de vender una hacienda, también se transferían los trabajadores, y la deuda que adquirirían los peones no se tomaba en cuenta, sino su precio en el mercado; pero la deuda si era útil para esclavizar a obreros nuevos.⁹

De manera similar, en Valle Nacional, Oaxaca, se enganchara a los barbasqueros con vales que podían intercambiar en una tienda local y de esta manera el acopiador se aseguraba de que los recolectores del tubérculo le vendieran exclusivamente a él, aseguró en una entrevista Lorenzo León, a Gabriela Soto Laveaga (2009).

⁸ Graham Knox (1977) menciona que la Guerra de Castas mermó “la fuerza de trabajo” por lo que era necesario “importar” trabajadores de Asia; y Olegario Molina como secretario de *Fomento de México* usó sus influencias para llevar a las haciendas a los indios yaqui.

⁹ El nombre “peonaje” tenía un mejor prejuicio que “esclavitud” por ser un servicio por deudas. Los esclavos no eran exclusivos de las haciendas henequeneras, también podían ser sirvientes, obreros, o prostitutas en la ciudad (Turner, 1911).

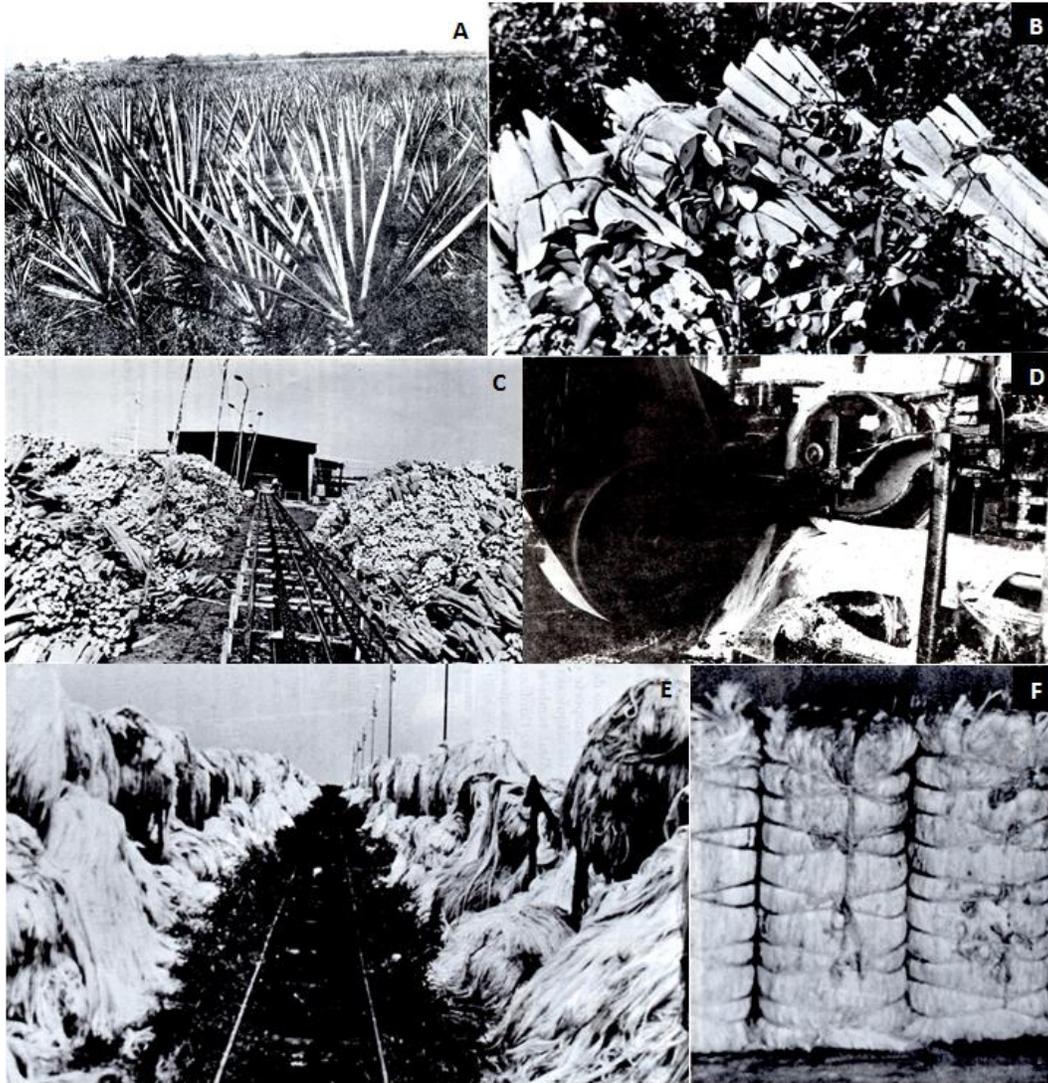


Fig. 2. A. Plantas de henequén en explotación. B. Rollos de pencas cortadas. C. Transportadora horizontal de pencas hacia el desfibrado. D. Máquina desfibadora. E. Secadero de fibras. F. Pacas de fibras listas para comercio. Imágenes tomadas y modificadas de Macossay y Castillo (1986); y Peniche Rivero (1985).

Curiosamente, aunque no existe un número preciso de los campesinos que trabajaban en los henequenales, se sabe cuántas familias eran dueñas; no así con los recolectores de barbasco (Soto Laveaga, 2009). Gabriela Soto Laveaga (2009) y Leida Fernández Prieto (2013) mencionan la importancia que tienen los actores diferentes a los científicos en la construcción del conocimiento. Hasta ahora sólo se cuenta con los estudios etnobotánicos de Patricia Colunga-García Marín sobre los usos del agave, pero no se ha explorado suficientemente la participación de los peones y campesinos en el conocimiento del henequén, su proceso de desfibración, o incluso si estos trabajadores del campo tuvieron alguna relación con el CICY.

Importancia política

Como se mencionó previamente, los ricos hacendados también concentraban el poder político, y el estado yucateco representaba el régimen de un clan (Topik, 2005); el personaje más poderoso en ese periodo fue Olegario Molina (Turner, 1911). Molina era el director de la vía férrea más grande de Yucatán, y en 1902 el presidente Porfirio Díaz lo nombró gobernador del estado (Topik, 2005). Desde entonces utilizó su poder para su propio beneficio. En el mismo año que se convirtió en gobernador, hizo un acuerdo con la compañía International Harvester (IH) en el cual, a cambio de vender las fibras a bajos precios, la compañía estadounidense le ofrecía un mayor crédito.¹⁰ La compañía americana convenció también a la otra gran casa exportadora de no colocar precios más altos que Molina; de esta manera, las dos casas exportadoras tenían el mercado garantizado en Estados Unidos (la IH recibía cerca del 90 % de las embarcaciones que salían de Yucatán) (Topik, 2005) y dominaban el crédito en el estado peninsular, por lo que los plantadores estaban forzados a vender al precio que ellos establecieran (Joseph y Wells, 1982). El poder que adquirió Molina le permitía comprar haciendas de aquéllos que se endeudaran con él (Topik, 2005), llegando a poseer 6 millones de hectáreas repartidas en Yucatán y Quintana Roo (Turner, 1911).

Durante el auge exportador, se intentó en varias ocasiones fijar un alto precio en las fibras del henequén, sin embargo ello hubiera afectado a los hacendados más ricos, y Molina utilizó su influencia para entorpecer algunos de estos esfuerzos.¹¹ Era común que los políticos en Yucatán fueran henequeneros o estuvieran relacionados a éstos (Turner, 1911).

Los privilegios políticos de los que gozaba la Casta Divina se vieron comprometidos con la llegada de la Revolución Mexicana con el lema “Tierra y Libertad” que adoptaron los zapatistas, aunque el movimiento revolucionario tuvo otros objetivos en el inicio (Graham Knox, 1977). En general, a nivel nacional fue lento el reparto de tierras

¹⁰ Las compañías que se fusionaron manufacturaban maquinaria agrícola (Topik, 2005). Éstas fueron McCormick, Deering, Glessner y Jones junto con John P. Morgan (Canto Sáenz, 2001). Esta compañía se convirtió en un oligopsonio al “monopolizar” la compra del producto y fijar el precio conveniente.

¹¹ Algunos de los plantadores endeudados obtuvieron un préstamo que les permitía retener el henequén hasta que subiera el precio, sin embargo Olegario Molina en un acuerdo con el Ministro de Finanzas, logró que se retirara dicho préstamo (Topik, 2005).

porque diferentes personajes tenían posturas opuestas al respecto, algunos como Madero y Carranza no estaban de acuerdo; mientras que otros como Zapata estaban convencidos de que era necesario realizar justicia social al devolverles a los campesinos lo que era originalmente suyo.¹²

En Yucatán, como era de suponerse, los ricos hacendados no estaban de acuerdo con el reparto de sus tierras ni con perder, o encarecer, su fuerza de trabajo y se opusieron de muchas formas durante varias décadas. Y por otro lado, el reparto de tierras en este Estado no fue homogéneo, pues dependía de cada gobernador (Graham Knox, 1977).

El general Salvador Alvarado fue nombrado gobernador de Yucatán el 26 de febrero de 1915, por Venustiano Carranza, y fue enviado allí a restablecer el orden (Quezada, 2011). Para Carranza el reparto de tierras no era una prioridad (Graham Knox, 1977), y Alvarado creía que la propiedad privada era mejor que el sistema ejidal, por lo que no repartió las tierras de los henequeneros (Canto Sáenz, 2001). Las aportaciones de Salvador Alvarado se concentraron, más bien, en los pequeños y medianos hacendados, al crear la Comisión Reguladora del mercado del Henequén, que subiría el precio de la fibra y le restaría poder a las casas exportadoras y a la International Harvester (Joseph, 1992). Así mismo, acabó con el peonaje pues liberó aproximadamente a 60,000 peones (Graham Knox, 1977).

Felipe Carrillo Puerto, gobernador de Yucatán de 1922 a 1924, dirigió sus esfuerzos a los trabajadores rurales, por lo que se enfocó en el reparto agrario, y durante su mandato se repartieron 438 000 hectáreas (Quezada, 2011), entre ellas tierras no cultivadas o aquéllas que no tenían documentos probatorios.¹³ Por su parte, los hacendados se resistieron de varias formas. Durante el mandato de Alvarado, Avelino Montes (miembro de La Casta Divina) intentó derrocar al gobernador con apoyo de la International Harvester; culparon la caída de los precios del henequén, al finalizar la primera mundial a la Comisión Reguladora; crearon la Asociación de Hacendados Henequeneros en 1918 y solicitaron, en

¹² Madero quería respetar los derechos de propiedad de los Hacendados. Incluso después del gobierno de Álvaro Obregón y Plutarco Elías Calles existía la preocupación de comprometer a la economía al partir las haciendas productivas en ejidos de autosustento (Graham Knox, 1977).

¹³ Hubo un levantamiento de armas en su contra poco después de declarar que iban a repartirse las haciendas abandonadas y las tierras ociosas, a causa del golpe de Estado de De la Huerta (Sierra Villareal y Paoli Bolio, 1986).

conjunto con el Partido Liberal, la clausura de la Comisión al entonces gobernador Carlos Castro Morales (Quezada, 2011).

Durante la candidatura de Carrillo Puerto, se le intentó desprestigiar a través de La Revista de Yucatán y se postuló a Ricardo Molina (sobrino de Olegario Molina) como candidato de su partido: el Partido Demócrata; se ampararon por medio de jueces federales para no entregar sus tierras; redujeron o suspendieron la producción de fibra en un intento de boicotear a Carrillo Puerto durante su gubernatura (Quezada, 2011).

La Reforma Agraria no se llevaría a cabo con éxito sino hasta que Lázaro Cárdenas fuera electo presidente de la República, y personalmente lo supervisara (Graham Knox, 1977). Y, aún entonces, los hacendados formaron la Asociación de la Defensa de la Industria Henequenera, y sostuvieron una larga campaña que apoyara su causa, amenazaron a sus trabajadores y éstos llegaron a oponerse al reparto agrario por temor a perder su “fuente de supervivencia” (Sierra Villareal y Paoli Bolio, 1986).

Canto Sáenz (2001) menciona que la Revolución debilitó a la industria henequenera porque los hacendados sabotearon o abandonaron la producción, pero Topik (2005) propone que de no ser por el declive de la misma, hubiera sido más difícil llevar a cabo la Reforma Agraria, pues la baja en los precios de las fibras no afectó significativamente a los henequeneros debido a que la producción de cuerdas también les generaba ganancias (Sierra Villareal y Paoli Bolio, 1986). Cárdenas utilizó el argumento de un mal manejo por parte de los hacendados para justificar la intervención del Estado (Graham Knox, 1977). Al respecto, Topik (2005) enfatiza que mientras el gobierno de Brasil intervino para ayudar a subir los precios del café en el mercado internacional, en México el gobierno intervino para coartar el poder político de los hacendados.

Aproximadamente se repartieron 360,436 hectáreas de haciendas (incluyendo 91,000 de henequenerales) a más de 22 mil individuos y los hacendados retuvieron cada uno 150 hectáreas cultivadas, el límite constitucional de la pequeña propiedad (Canto Sáenz, 2001); pero a pesar de que terminó el peonaje, no hubo una gran mejoría en las condiciones de vida de los campesinos (Graham Knox, 1977).

El oro verde

Durante la época colonial la importancia de las fibras de henequén consistía en la fabricación de cuerdas para la navegación (Colunga-García Marín y May-Pat, 1993). El “boom” henequenero llegó hasta 1880 y se extendió hasta 1918, a raíz del invento de Cyrus McCormick: la engavilladora de cereales, en 1878, que en un inicio utilizaba alambre pero que posteriormente se sustituyeron por cordeles de henequén (Canto Sáenz, 2001; Topik, 2005).¹⁴ Antes de 1880, Yucatán exportaba las fibras a pequeña escala, a la vez que el cultivo del maíz y la ganadería eran las actividades principales en las haciendas; sin embargo, cuando aumentó la demanda internacional de fibras de henequén las haciendas se transformaron en henequenales (Canto Sáenz, 2001). Cabe mencionar que la gran demanda promovió la invención de una máquina raspadora que acelerara el proceso de desfibración.¹⁵

Durante el periodo de auge existieron algunos altibajos en el precio de las fibras, pero aun así Yucatán se convirtió en el principal productor y proveedor internacional del derivado de henequén, pues surtía el 95 % de las exportaciones a finales del siglo XIX (Brannon y Baklanoff, 1987). Además, ya que las fibras se convirtieron en la principal exportación agrícola de la nación durante el auge henequenero, su importancia no se limitó a un nivel regional (Zuleta, 2004). La Hacienda Pública yucateca llegó a ser la número uno en el país en cuanto a la captación de recursos entre 1904 y 1907; los ingresos estatales aumentaron en el periodo de 1883-1910, aunque su importancia varió (Zuleta, 2004).

A principios de 1880 los impuestos al henequén eran indirectos, fue hasta 1884 que se gravó la producción del henequén, lo que generaba el 30 % de los ingresos estatales; y en 1902 Hacienda comenzó a ser dependiente de ellos pues más del 40 % provenían del aprovechamiento del henequén.¹⁶ A partir de 1902 los altos ingresos generados por los impuestos al henequén además de generar el desarrollo de la ciudad de Mérida y Puerto

¹⁴ La engavilladora de cereales segaba el trigo y lo amarraba al mismo tiempo en haces. Los campesinos argumentaban que los restos de alambre causaban la muerte al ganado (Benitez, 2015) en cambio el binder twine, hecho con fibras de henequén resultaba inocuo, e inmune al ataque de insectos (Soberón Martínez, 1959).

¹⁵ Irigoyen (1947) dice que la Guerra de Castas pudo ser un factor, pues debido a la merma en “la fuerza de trabajo” era menester acelerar el proceso para satisfacer la demanda; además la guerra afectó los cultivos en otros sitios del estado dedicados a la producción de caña de azúcar, tabaco y algodón, lo que afectó la economía del estado y por lo que era importante mantener la industria henequenera (Millet Cámara, 2006).

¹⁶ Se gravó el movimiento de la propiedad (Zuleta, 2004).

Progreso, también se vieron reflejados en el resto de los municipios. En Mérida se inició la pavimentación de las calles y las obras de drenaje y agua potable; se construyó el observatorio astronómico, el hospital O'Horan, el hospital de la Maternidad, el asilo Ayala y varias escuelas (Wells y Joseph, 1996); por otra parte, también se subsidió el ferrocarril.¹⁷ Esta economía promovió (y forzó) la inmigración de jornaleros agrícolas (Zuleta, 2000), como los indígenas yaqui de Sonora (Turner, 1911; Topik, 2005). Así mismo inició una política de salubridad pública que incluía el saneamiento de aguas, asistencia médica, vacunación contra la viruela y fiebre amarilla (Zuleta, 2004).

En la capital del Estado también se construyeron plazas, paseos, glorietas y calles; además el comercio local se vio favorecido por el derroche de los ricos hacendados y se ofrecían productos de marcas internacionales, como instrumentos, bebidas alcohólicas, fonógrafos, bicicletas, relojes y perfumes, por ejemplo (Antochiw Kolpa, 2006). Por su parte, en los municipios se llevó a cabo la construcción de mercados, escuelas, rastos, edificios públicos, panteones, asilos, caminos, estaciones meteorológicas, penitenciarias y hospitales.¹⁸ Esta riqueza acumulada tuvo importantes consecuencias para la relación entre Yucatán y el resto de la república, en particular el gobierno central.

Los intentos que se realizarían después para fijar precios más altos del henequén tampoco tuvieron éxito.¹⁹ El precio aumentó nuevamente durante la primera guerra mundial debido a la obstrucción de las rutas marítimas mercantes internacionales, provocando que la compra se realizara en Yucatán (Vela Sosa, 2011). Pero al finalizar la guerra, el precio cayó de nuevo porque los europeos buscaron fomentar la producción en sus colonias de Indonesia (Sumatra, Java) y África (Kenia, Tanganica) para disminuir su dependencia de la fibra yucateca porque la importancia de las cuerdas en la guerra era estratégica (Topik, 2005), probablemente por su uso como amarres en los barcos. También comenzaron a

¹⁷ El ferrocarril fue adquirido con capital yucateco, a diferencia del resto de México, donde el capital extranjero permitía financiar obras públicas.

¹⁸ *Mensaje* leído por Olegario Molina (1906); Loaeza Domínguez, Felipe (1935). Citados por Zuleta (2004).

¹⁹ Por ejemplo, en 1906 la Cámara Agrícola de Yucatán fue creada y negoció un gran préstamo que le permitiera a los henequeneros mantener al agave fuera de mercado para subir los precios; sin embargo algunos factores externos hicieron inevitable la venta (Topik, 2005). En 1912, la Comisión Reguladora del Mercado de Henequén se fundó y logró subir los precios, pero los sucesores de Molina y Compañía (Avelina Montes S. C.) y préstamos forzados por el gobierno militar privó a la Comisión de recursos (Benjamin, 1977; Joseph, 1992). En 1921 la Comisión Exportadora de Yucatán logró mantener precios estables en sus tres años de existencia (1921-1923) (Topik, 2005).

producirse fibras en Estados Unidos y Brasil.²⁰ Esto sucedió a raíz de que en 1836 se importó *Agave sisalana*, del cual se obtenía fibra de sisal, en Estados Unidos (desde Yucatán) para su cultivo, y también se llevó a las colonias inglesas, y Brasil.²¹ El mayor reto fue desarrollar híbridos que pudieran aprovecharse en 4 años, en lugar de 7; y que además tuvieran mayor cantidad de hojas y produjeran fibras más resistentes y flexibles (Soberón Martínez, 1959).

Topik (2005) menciona que las características edafológicas y pluviales del estado de Yucatán, que eran apropiadas para cultivar *Agave fourcroydes*, no eran propicias para algún otro cultivo rentable, y por ello fue difícil para los productores diversificar sus campos cuando el precio del henequén cayó en el extranjero. Sin embargo, Canto Sáenz (2001) parece atribuir el problema de la falta de diversificación económica, más bien, a la influencia que tenía la Casta Divina para fomentar el monocultivo de esta especie. Puede decirse que las razones seguramente fueron de carácter múltiple, en las que aspectos de la historia natural del cultivo de la planta, junto con el entorno político y económico creado a su alrededor, no hacían posible la introducción de otros cultivos.

El panorama cambió drásticamente cuando el mercado mundial dejó de demandar esos volúmenes de henequén. Un factor crucial que promovió la baja de la demanda internacional de las fibras naturales fue la invención y producción industrial de las fibras sintéticas en la posguerra (Colunga-García Marín y May-Pat, 1993; Canto Sáenz, 2001; Topik, 2005). A principios de 1970 la producción de fibras sintéticas mermó la demanda de las fibras naturales, además la fibra de henequén tenía altos costos de producción en comparación (Colunga-García Marín y May-Pat, 1993).

La industria de las fibras manufacturadas comenzó en 1892 en Francia, donde De Chardonnet produjo seda artificial. Aunque esta fibra no tuvo éxito, la industria continuó desarrollándose hasta que Wallace Carothers descubrió el nylon en la década de 1930 (Carmichael, 2015). Algunas de sus aplicaciones incluyeron su uso en la Segunda Guerra Mundial pues a partir del nylon se pueden hacer sogas, hilos y cordones, de alta elasticidad

²⁰ Canto Sáenz (2001) incluye a Haití, Bahamas, y El Salvador.

²¹ En inglés no existe distinción entre las fibras de henequén y el sisal, lo que puede causar confusión (Colunga-García Marín y May-Pat, 1993). El término sisal se acuñó porque a principios del siglo XIX el comercio marítimo se llevaba a cabo en Puerto de Sisal, donde los navíos atracaban y solían necesitar un cambio de amarres (Ramírez Carrillo, 1959).

y resistentes (Billmeyer, 1975). Es decir, que podían reemplazar las fibras naturales del henequén.²²

La caída del precio del petróleo en 1982 disminuyó los costos de producción de las fibras sintéticas, y por lo tanto, las fibras naturales también tuvieron que bajar su precio. Otro factor que provocó la baja demanda del henequén fue la innovación tecnológica de máquinas de cosecha que prescindían de hilos (tanto sintéticos como naturales) (Villanueva-Mukul, 2009).

Topik (2005), en su comparación con el café brasileño, menciona que, a diferencia del producto derivado de este agave, el café no podía sintetizarse, ni sustituirse debido a su función social y por ser una necesidad para la clase trabajadora; y por lo tanto fue posible para Brasil subir el precio del café en el mercado sin que existiera el riesgo de una baja en la demanda internacional. Además, los países que competían con Brasil eran países independientes latinoamericanos pobres; mientras que la competencia de Yucatán eran colonias de países con poder adquisitivo.

En el caso del barbasco, a pesar de que se intentó cultivar en el extranjero, y que se buscaron sustitutos vegetales y animales, el tubérculo mexicano siempre resultaba con la concentración más pura de diosgenina, y por lo tanto, la industria farmacéutica en México desplazó a la Europea (Soto Laveaga, 2009). Lo opuesto ocurrió en la industria henequenera, pues la producción de sisal tiene un mayor rendimiento en zonas con una mayor precipitación (Topik, 2005).

Cuando en la década de 1930 la venta de las fibras yucatecas en el mercado internacional era muy baja, comenzó a utilizarse en mayor medida por las cordelerías locales.²³ A partir de entonces Yucatán exportó lazos y cuerdas a Estados Unidos, y cordel a Europa. La importancia de las cordelerías se vio reflejada en el aumento de los locales, de 90 en 1944 a 110 en 1948 (Basulto Tamay, 1986; Ramírez Carrillo, 1994). Sin embargo, la industria cordelera no tuvo el mismo auge que el henequenero; y debido a deudas y el desarrollo de las fibras sintéticas, los cordeleros decidieron vender sus negocios al Estado, y así se creó Cordemex en 1961, que continuaría utilizando fibras de henequén hasta que cerró sus puertas en 1991 (Canto Sáenz, 2001).

²² Al nylon lo siguió el poliéster en la década de 1940, por científicos británicos.

²³ Pasó de un 1 % en 1925 a 25 % en 1940, y a un 80 % en 1959 (Canto Sáenz, 2001).

A pesar de que la industria cordelera siguió aprovechando el producto del agave, seguiría decayendo paulatinamente, al igual que la industria henequenera. Fue por eso que las políticas del estado de Yucatán, en un intento por aminorar los problemas económicos comenzaron a concentrarse en reducir las áreas de producción; obtener productos a partir del henequén con valor agregado, tales como precursores de esteroides a partir de extracto de hojas, fibras cortas y largas para obtener materiales químicos de celulosa; para ser usado como abono o para alimentar el ganado; y reducir los costos de producción apostando por las nuevas técnicas y por mejorar genéticamente a los cultivos (Colunga-García Marín, 2006). Una de las técnicas a las que se recurriría sería el cultivo de tejidos vegetales para acelerar y mejorar la producción, mismas que se abordarán en el siguiente capítulo.

Conclusión:

En resumen, los productos agrícolas han sido un motor para el desarrollo científico en América Latina, como han mostrado detalladamente las historiadoras Gabriela Soto Laveaga (2009) y Leida Fernández Prieto (2013), en el caso del barbasco y el azúcar, respectivamente. La necesidad de explotar de una manera más eficiente un cultivo promueve la generación y aplicación de conocimiento de manera local, en buena parte porque se inserta en un contexto donde una determinada planta, convertida en una mercancía agrícola, adquiere importancia económica y social. Es decir, fue la importancia económica de *Agave fourcroydes* el principal motivo que se utilizó para la creación de un centro de investigación en Yucatán -no obstante su importancia social y cultural. El objetivo explícito era mejorar el cultivo y diversificar el aprovechamiento del agave, para mantener al henequén como motor de crecimiento en Yucatán. Como podemos apreciar, sin embargo, décadas antes de la creación del CICY el mercado internacional del henequén, y el sistema político y cultural que sustentaba en Yucatán, se encontraba en declive. Ello se debía a la compleja interacción entre el desarrollo de fibras alternativas y sintéticas, y a la escasa industrialización favorecida por el uso de mano de obra barata (casi esclava). Pese a ello, el argumento del rescate del “oro verde”, fue utilizado tanto por científicos como por políticos locales y federales. En ello fue fundamental, como veremos en los capítulos que siguen, el entretrejimiento de nuevas biotecnologías (como el cultivo de tejidos vegetales) y de nuevas alianzas políticas.

Capítulo 2

El prometedor cultivo de tejidos vegetales

Como se vio en el capítulo anterior, la industria henequenera, es decir, el cultivo, tratamiento y comercialización del henequén, enfrentó una dura crisis ya visible en la década de 1940, y más aún tras la Segunda Guerra Mundial. El henequén languideció por muchos años, afectando de nuevo al estado de Yucatán. Ante la producción de fibras sintéticas, la competencia en el mercado internacional de las fibras naturales, y la producción de híbridos de agave con mejores cualidades, un grupo pequeño de científicos con apoyo gubernamental contemplaron el uso de la ciencia y la tecnología para innovar la industria del henequén. Su intervención y los resultados inesperados que derivaron de ella son el objetivo de éste y el siguiente capítulo.

Cuando se creó el Centro de investigación en Yucatán, se integraron diversos proyectos para mejorar genéticamente al agave, así como diversificar su uso, y de esa manera reactivar el comercio. Entre estos proyectos, se encontraba el cultivo de tejidos vegetales, una técnica biotecnológica que comenzaba a figurar como una promesa para la agricultura por el reciente descubrimiento de las ventajas que le brindaría a ésta.

A principios de la década de 1970, se comenzó a plantear la posibilidad de utilizar el cultivo *in vitro* en la multiplicación de especies vegetales en diversos grupos de investigación alrededor del mundo; y a finales de la misma ya comenzaban a publicarse protocolos de multiplicación *in vitro* de especies de importancia agrícola. El cultivo de tejidos vegetales había iniciado como una herramienta para el estudio de la fisiología vegetal, pero posteriormente comenzó a verse como una herramienta biotecnológica. Esta técnica, como veremos en el siguiente capítulo, se convirtió en el instrumento más importante que se planteaba poner en marcha tras la creación del Centro de Investigación Científica de Yucatán. Este centro se sumó a los cambios en la disciplina de la biología vegetal causados por la introducción del enfoque del cultivo de tejidos vegetales, debido a que coincidieron la decadencia de la industria henequenera, los avances científicos de las técnicas de propagación y la inversión que se realizaba en el desarrollo científico del país en aquella época.

El CICY integró las técnicas de micropropagación como parte de la estrategia para satisfacer las necesidades de la industria henequenera yucateca, con la finalidad de que ésta pudiera seguir compitiendo a nivel internacional. Es por esta razón que en este capítulo presento diferentes momentos en la historia del cultivo de tejidos vegetales, que planteaba distintos escenarios prometedores a la agricultura, particularmente en el periodo de 1950 a finales de 1970. De este modo será más fácil entender por qué se consideró pertinente incorporar el cultivo de tejidos vegetales a los esfuerzos científicos para mejorar la producción de *Agave fourcroydes*.

A grandes rasgos, el cultivo de tejidos vegetales abarca el crecimiento de células *in vitro* con el fin de obtener algún producto derivado, o conseguir la regeneración de numerosas plantas completas; en ambos casos puede tratarse de investigación básica o aplicada. El primer objetivo se cumple con el cultivo de células en biorreactores; mientras que el segundo se puede obtener a través de tres vías de propagación: a partir del crecimiento y proliferación de meristemas pre-existentes; por la formación *de novo* de órganos directamente desde el explante, o indirectamente (a partir de una masa de células desorganizadas); o por la formación de embriones que no son resultado de la reproducción sexual (George y Debergh, 2008).

De la investigación básica a la aplicada

Con motivo del centenario del establecimiento del cultivo de tejidos vegetales, varios investigadores colaboraron en la publicación un libro en el que se recuenta la historia de la disciplina (Laimer y Rücker, 2003). Las conmemoraciones en la ciencia suelen ser motivo para celebrar logros, y demostrar el triunfo en la búsqueda por la verdad para legitimar una disciplina, una institución o algún personaje (Abir-Am, 1999). Este tema se retomará en el siguiente capítulo, pero es importante rescatar de este libro, el trazo de una historia lineal, ya que, como suele ocurrir, los científicos describen un itinerario a lo largo del pasado que culmina en soluciones presentes (Pestre, 1999).

La narrativa de autoridades científicas puede convertirse en legitimaciones de segundo orden que protegen la imagen oficial de la ciencia, como el caso de la biología molecular que describe Abir-Am (1985). Ella identifica cuatro formas, y una de ellas es la reconstrucción de Robert Olby, el autor presenta los antecedentes y a los predecesores de la

disciplina de tal manera que parece lógico el eventual descubrimiento de la estructura del DNA. Sin embargo, de manera similar a este ejemplo, no es el caso que la técnica planteada por Haberlandt haya avanzado inevitablemente hasta ser aplicada en problemas de índole agrícola, comercial o de conservación.

El cultivo de tejidos vegetales tiene como antecedentes las preguntas del siglo XIX sobre la morfología y fisiología de la germinación, la regeneración y la correlación de órganos de la planta (Höxtermann, 2003). Por ejemplo, Julius Sachs en 1859 cultivó embriones aislados de frijol maduros, y probó que los cotiledones son reservorios de nutrimentos. Su interés se centraba en la fisiología de la germinación y el desarrollo; y en la diferenciación de embriones en crecimiento y su dependencia en factores histológicos y ambientales (Höxtermann, 2003).

En general se le atribuye a Gottlieb Haberlandt, quien trabajaba en la Universidad Graz, de Austria, haber sentado en 1902 las bases científicas del cultivo de tejidos vegetales. Sus experimentos fueron el resultado de un programa de investigación cuyo objeto era estudiar y entender la influencia a la que estaba sujeta la célula vegetal dentro de un organismo completo, así como conocer “las propiedades y potencial que la célula, como un organismo elemental, posee” [Haberlandt, p. 68, 1902]. Haberlandt, de hecho, estaba convencido de que las células no eran solamente una unidad fisiológica. En su libro *Physiological Plant Anatomy*, enfatizaba que “una célula, como regla, no sólo está al servicio de una entidad viva superior, es decir la planta completa, también se comporta como una entidad viva [...]. [Haberlandt, p. 16, 1914]. Las razones por las que Haberlandt concibió a la célula como un “organismo elemental” se sustentaban en el reciente desarrollo de la teoría celular (Krikorian y Berquam, 1969), y la introducción del concepto de célula en 1862 por Brücke (Höxtermann, 2003).²⁴

Al realizar sus experimentos, Haberlandt observó que células aisladas de parénquima permanecían vivas en solución de Knop durante 3 semanas, y poco más de un mes cuando añadía sacarosa al medio.²⁵ Así mismo, pudo observar que el tamaño de las

²⁴ “I call the cell an elementary organism in the same sense as in chemistry we call elementary such bodies which have not yet been taken apart.” Tomado de Kozo Polyanskyi (1924). Traducido al inglés por Victor Fet

²⁵ Este es un medio de cultivo para algas. Según los comentarios de Krikorian y Berquam en el artículo original de Gottlieb Haberland, el medio está compuesto por: 1 g de nitrato de potasio, 0.5 g de sulfato de calcio, 0.5 g de sulfato de magnesio, 0.5 g de fosfato de calcio, y una pizca de sulfato ferroso, en 1000 cm³ de agua.

células aisladas de los tejidos aumentó. Ofreció varias explicaciones sobre este crecimiento y finalmente consideró a esta la mejor:

“Es más probable que la reanudación del crecimiento de las células asimiladoras después de su aislamiento no sea realmente el resultado de un nuevo estímulo. Más bien, las células reanudan un crecimiento interrumpido, porque algún factor inhibitor del crecimiento que libera la planta en su totalidad, que induce a las células asimiladoras de la hoja a cesar su crecimiento en un estadio particular, desaparece al aislar a las células.

Sabemos que, en un organismo, diferentes procesos y actividades son estimulados o reprimidos de manera auto-regulatoria según las necesidades del entero. [...]. Cuando este tamaño [el de la célula dentro de un tejido] es alcanzado [...] un crecimiento posterior de las células será controlado. Esto ocurre no porque las células pierdan su capacidad potencial para crecer, sino porque un estímulo es liberado por todo el organismo, o por partes específicas de él. [...]. La célula aislada es capaz, por lo tanto, de retomar el crecimiento interrumpido.”

[Haberlandt, p. 75, 1902]

Más adelante, en su artículo Haberlandt reconoce que no observó la división de las células aisladas y sobre este problema existen dos puntos que vale la pena mencionar: la comparación de los cultivos animales con los cultivos vegetales; y las repercusiones de su razonamiento sobre cómo obtener la división.²⁶ Haberlandt hace mención a los casos que contienen “las pistas” para poder inducir la división celular.

Otros desarrollos también fueron importantes para sentar las bases del conocimiento en torno a las condiciones de laboratorio necesarias para la reproducción celular. De manera casi simultánea Jacques Loeb (1899) observó el desarrollo partenogenético de huevos de erizo de mar después de exponerlos a disoluciones de $MgCl_2$, de $NaCl$ y KCl , y con diferentes concentraciones de sacarosa, y mostró que un aumento específico en la presión osmótica del fluido que rodea al huevo inducía la división. Por su parte, Alexander Nathansohn (1900) indujo el desarrollo partenogenético de gametofitos de *Marsilea* (helecho acuático) al exponerlos a una temperatura de $35^{\circ}C$. Asimismo Hans Winkler (1901) indujo algunas divisiones celulares de huevos de *Arbacia* y *Sphaerechinus* (erizos

²⁶ La importancia de la división celular radica en que ello demuestra que la célula es un organismo elemental.

de mar) al utilizar material extraído del esperma de la misma especie. Así pues, tanto el cultivo de tejidos animales como el de vegetales tiene sus raíces en disciplinas de finales del siglo XIX como la fisiología, la morfología y la embriología (Höxtermann, 2003), por lo cual Haberlandt hizo referencia a todas ellas.

En un recuento sobre los orígenes de este tema, Ekkehard Höxtermann (2003) resalta que a pesar de que los intentos por cultivar células aisladas se realizaron primero en la botánica, el éxito se logró primero con cultivos animales. Fiedler (1938/39) enfatizó esta brecha entre los dos tipos de cultivo, haciendo notar que a pesar de que los tejidos vegetales eran más sencillos en comparación con los tejidos animales, los fisiólogos botánicos no habían podido llevar a cabo un mayor crecimiento de forma aislada.²⁷ De hecho, es a Ross Harrison, zoólogo anatomista, a quien se le reconoce ser el primero en presentar una técnica eficiente para el cultivo celular en la historia de la biología. En 1907 Harrison utilizó el cultivo de células animales para resolver un problema embriológico sobre el origen de los axones con la intención de obtener un método que le permitiera observar el final de un nervio en crecimiento mientras estuviera vivo (Höxtermann, 2003).

Harrison mostró, al cultivar fragmentos de embriones de rana en una gota de linfa, que el axón era una salida de la neurona central (Höxtermann, 2003). Según Jane Oppenheimer (1966), no existe un registro impreso claro acerca de cuánto conocía Harrison sobre el trabajo de otros investigadores antes de llevar a cabo sus propios experimentos sobre el cultivo tisular; sin embargo, a pesar de no haber citado en sus artículos el trabajo de Haberlandt, en una conferencia publicada en 1928 Harrison reconoció que el botánico fue el primero en intentar el verdadero cultivo celular.

Cabe mencionar que el repetido fracaso en los intentos del cultivo de tejidos hizo surgir dudas sobre el desarrollo potencial de las células somáticas (Höxtermann, 2003). La perspectiva de Hugo Mische (1928) era que las células diferenciadas no podían retomar un estado juvenil, y reprochó a botánicos como Haberlandt por malinterpretar el cuerpo vegetal como una especie de colonia de individuos sub-celulares relativamente independiente (Höxtermann, 2003). Sin embargo, el éxito de los tejidos animales alentaba a

²⁷ Traducción del alemán, del fragmento citado por Höxtermann (2003).

muchos botánicos a descartar la imposibilidad teórica de cultivos de tejidos permanentes e investigaban mejores soluciones metodológicas.²⁸

Algo que llama la atención es que a diferencia de la historia del cultivo de tejidos vegetales, que está compuesta principalmente por literatura primaria, sobre la historia del cultivo de tejidos animales se ha generado una gran cantidad de literatura secundaria (Landecker, 2007; Wilson, 2011; Dröscher, 2014). Así como el cultivo de tejidos animales ha sido importante para la anatomía, la embriología, la fisiología y la medicina (por nombrar algunos campos), el cultivo de tejidos vegetales también ha contribuido a la embriología, la anatomía y la fisiología vegetal, al igual que a la agricultura; ambas comenzaron en tiempos similares e incluso Höxtermann (2003) menciona que el cultivo de tejidos en la zoología fue adoptado lentamente. Es curioso, por lo tanto, que no se haya discutido el cultivo de tejidos vegetales desde una perspectiva histórica, pero es probable que ello se deba al interés reciente por la historia de técnicas de la biomedicina como las que involucran la diferenciación de células troncales, las cuales tienen numerosas aplicaciones en la medicina y han sido objeto de debate público por sus implicaciones bioéticas. De este modo, los historiadores y otros estudiosos de la ciencia han concentrado su interés en el cultivo de tejidos animales.

El segundo punto a mencionar gira en torno al problema de la división celular, que fue primordial en el desarrollo de esta técnica, y sobre el cual Haberlandt menciona:

“Este resultado [el obtenido por Winkler] tiene un análogo, en cierto grado, en el efecto (también reportado por Winkler) del tubo polínico en el desarrollo del óvulo en orquídeas, la hinchazón de los ovarios, etc.

Probablemente hay sustancias involucradas aquí, “enzimas de crecimiento” que, liberadas por el tubo polínico, actúan como un estímulo químico en el crecimiento y división de las células convenientes. [...] valdría la pena cultivar juntas a células vegetativas y del tubo polínico [...] tal vez las últimas induzcan a las primeras a dividirse.”

[Haberlandt, p. 83, 1902]

²⁸ Por ejemplo, Muir *et al.*, (1958) menciona en su investigación: “cultivos de distintos microorganismos y, más recientemente, de tejidos animales han sido cultivados con éxito a partir de células individuales” (p. 589). Michael Levine (1947) hace referencia a la capacidad de las células de proliferar, diferenciarse y adquirir actividad fisiológica, evidente en cultivos de tejidos de animales. (Höxtermann, 2003).

Incluso, Haberlandt se permite ahondar más en su razonamiento y menciona:

“No solamente podrían usarse tubos polínicos para inducir la división de células vegetativas. Podrían añadirse también a los medios nutritivos un extracto de ápices vegetativos, o cultivar las células de dichos ápices. Podría considerarse incluso utilizar fluidos del saco embrionario. [...] creo, en conclusión, que no hago una predicción tan atrevida si apunto a la posibilidad de [...] cultivar con éxito embriones artificiales a partir de células vegetativas.”

[Haberlandt, pp. 83-84, 1902]

Estas sugerencias tiempo después se “comprobaron” experimentalmente. Por ejemplo, el cultivo de ápices de raíces se desarrolló en 1922, (que se explicará más adelante); Van Overbeek y colaboradores demostraron que la leche de coco, que en realidad es endospermo líquido, contenía factores que permitían el desarrollo de embriones de *Datura*.²⁹ Aunado a esto, Frederick C. Steward y colaboradores (1966), y J. Reinert (1968) fueron los primeros en confirmar que los embriones pueden desarrollarse a partir de células somáticas.

Debido a que sus hipótesis fueron corroboradas, a Gottlieb Haberlandt se le atribuye un carácter de “profeta”. Krikorian y Berquam (1969) en su artículo “Plant cell and tissue culture: The role of Haberlandt” mencionan textualmente que: [Haberlandt] profetizó el uso de un ‘extracto de ápices vegetativos; o el cultivo de células de dichos ápices’. Estos autores están en lo cierto cuando mencionan que la publicación de Haberlandt promovió que posteriormente se investigara más acerca del crecimiento de tejidos y órganos vegetales.³⁰ Sin embargo, no parece que “era claro que expuso los objetivos y potencialidades del cultivo de tejidos vegetales”, pues este sería un logro de la segunda mitad del siglo veinte.

Ahora bien, si aceptamos la proposición de Haberlandt como un profeta, entonces se le podría catalogar como un “precursor” al igual que a Lamarck (Barthélemy-Madaule, 1979). Un “precursor” según Georges Canguilhem (1977) es alguien que presumiblemente

²⁹ Hannig (1904) fue el primero en utilizar fluidos del saco embrionario, sin embargo resultaron tóxicos para los embriones.

³⁰ Haberlandt reconoció que lograr la división celular era el siguiente reto, o paso, para quienes realizaran el cultivo celular (Haberlandt, 1902).

va delante de sus contemporáneos, pero que se detiene antes de llegar a la meta, mientras que los que van detrás de él lo rebasan. El problema con la idea del “precursor”, como menciona Madeleine Barthélemy-Madaule (1979), es que a este personaje se le ha separado de las estructuras y los logros de su pasado por alguna visión casi profética que haya realizado, pero el precursor es sólo una ilusión (Canguilhem, 1977). De hecho, Haberlandt obtuvo poco reconocimiento por su artículo de 1902 (excepto por una revisión realizada por Winkler), y no fue sino hasta 1960 que su trabajo con cultivos celulares se volvió popular (Höxtermann, 2003). El “mito del precursor” surge cuando se estudia la historia de la ciencia, en este caso la biología, al extrapolar el presente al pasado. Esto a su vez ocurre al estudiar la sucesión y la genealogía de ideas, modelo que plantea François Jacob. El otro modelo que propone Jacob, y que evita caer en el mito, es abordar cada periodo según su campo de posibilidades. De este modo, el precursor queda como un productor de lo que produjo (Barthélemy-Madaule, 1979). Además, utilizar a Gottlieb Haberlandt como la figura fundadora del cultivo de tejidos vegetales también le brinda credibilidad a la disciplina, por ser un científico importante del siglo XX. Haberlandt clasificó los tejidos vegetales con base en su función; antes de su propuesta se creía que la manera correcta era hacerlo según las formas de las células.³¹ Asimismo, fue una figura influyente pues logró que se construyera un edificio nuevo para el Instituto de Botánica en la Universidad de Graz; y un edificio para el Instituto de Biología cuando se mudó a Berlín (Härtel, 2003). Krikorian y Berquam (1969) sostienen que “parecía desafortunado que Haberlandt no continuara los estudios del cultivo celular” pero podemos considerar este enunciado más bien como una confirmación de que Haberlandt en realidad no tuvo una “visión” sobre el potencial del cultivo de tejidos vegetales.³²

De manera similar, a Schrödinger se le asociaba con el desarrollo de la biología molecular, a pesar de que su interés por la estructura del gen fue breve en sus obras, como una manera para legitimar a la disciplina y reducir la resistencia que se presentaba desde la

³¹ Julius Wiesner fue su principal inspiración en su estudio sobre la relación estructura-función, las principales críticas a su clasificación eran que se basaba principalmente en analogías (que en aquella época no se consideraban válidas); y haber combinado dos disciplinas (anatomía y fisiología) (Härtel, 2003).

³² Haberlandt retomó sus investigaciones con el cultivo de tejidos vegetales en 1911 cuando se había mudado a Berlín. Pero sus trabajos se centraron en los límites de la divisibilidad vegetal, y utilizó complejos celulares, no células aisladas.

parte tradicional de la biología, además el físico ya no estaba presente para aceptar o negar el crédito que se le brindaba. (Abir-Am, 1985). Asimismo, Haberlandt no podría deslindarse de proponer el uso agrícola del cultivo de tejidos vegetales.

Cabe mencionar que Haberlandt, además de legitimar a la disciplina, también podría funcionar como un modelo a seguir para los científicos neófitos, pues una imagen idealizada de los investigadores también tiene repercusiones sociales en las comunidades científicas (Abir-Am, 1982).

Al concluir su artículo, Haberlandt afirmaba que “en cualquier caso, la técnica de cultivar células vegetales aisladas en soluciones nutritivas permite la investigación de problemas importantes desde una nueva aproximación experimental”. Y de hecho, no se equivocaba: esta técnica sí proporcionaba una nueva forma de estudiar, manipular y enfocar los estudios anatómicos y fisiológicos. Otro aspecto importante a destacar de la publicación sobre el cultivo celular de plantas de Haberlandt, mencionado por Abraham Krikorian y David Berquam (1969) y Höxtermann (2003), es que parece que “creía en lo que ahora se llama totipotencia”. Es importante hacer énfasis en que es *ahora* que se llama totipotencia, pues de otro modo pareciera que se insinúa que Haberlandt ya hacía uso de dicho término, cuando en realidad, las ideas que tenía él tenía sobre las células se ajustan, o coinciden con el concepto de totipotencia.³³ Thomas Hunt Morgan (1901) fue el primero en ocupar este término, pero fue Edmund Sinnott quien introdujo el término “totipotente” a la botánica en 1950.³⁴

“La capacidad regenerativa no es universal y se ha perdido en la mayoría de las estructuras o individuos adultos. En sistemas con menor grado de organización, como la mayoría de las plantas, persiste en partes embrionarias. Muchos casos son conocidos en los que una célula [...] puede ser inducida a iniciar el desarrollo y así formar un individuo completo. La conclusión general, con todas sus implicaciones, parece ser que toda célula, fundamentalmente y bajo las condiciones apropiadas, es totipotente o capaz de desarrollarse por regeneración en un organismo completo.

[Sinnott, p. 30, 1950]

³³ Según Krikorian y Berquam (1969) la prueba es que Haberlandt propuso la posibilidad de desarrollar embriones a partir de células somáticas.

³⁴ Thomas H. Morgan lo utilizó para referirse a que “cualquier meridiano del huevo [de rana] tiene la posibilidad de convertirse en el plano sagital del embrión” y sustituir el término “isotropía” de Pflüger.

Ya que se había planteado el problema de la división celular, a la investigación de Haberlandt le siguieron investigaciones sobre los requerimientos para que se llevara a cabo dicho fenómeno. En 1922 William Robbins y Walter Kotte, por separado, llevaron a cabo exitosamente los primeros cultivos de órganos vegetales. A partir de puntas de raíces demostraron que los meristemas son capaces de desarrollarse hasta formar el órgano completo. Kotte tenía la intención específica de investigar el potencial de crecimiento de los tejidos meristemáticos aislados (Höxtermann, 2003), pues hasta ese momento sólo se habían utilizado tejidos “permanentes”. Es decir, a diferencia de otros tejidos, los meristemas son mitóticamente activos.

Por su parte, la investigación de Robbins (1922) es un caso peculiar porque su objetivo era probar la hipótesis de Jacques Loeb (1915) sobre una “hormona” que condicionaba el desarrollo de raíces en las hojas de *Bryophyllum*.³⁵ Robbins asumía que esa sustancia era el azúcar, ya que las raíces no pueden sintetizar sus propios carbohidratos y decidió comparar el crecimiento de ápices de raíces aislados en una disolución de sales minerales, con el crecimiento del mismo explante en una disolución de sales minerales y azúcar (Robbins, 1957). Para ello realizó sus experimentos en 1917 y le comunicó a Loeb sus resultados: en la disolución con carbohidratos se observaba un mayor desarrollo de las raíces, que en la disolución sin carbohidratos. La respuesta de Loeb fue que podía existir algún compuesto que se liberara desde los ápices durante el aislamiento.

Cuando Robbins publicó su artículo en 1922, cambió ligeramente sus objetivos a conocer los requerimientos nutrimentales de brotes y raíces. Los resultados del cultivo de tejido meristemático “sugerían” que dichos requerimientos son agua, sales minerales, carbohidratos y oxígeno libre. De estar presentes, las raíces podrían crecer indefinidamente.

Cabe mencionar que Robbins fue el primero en proponer que los cultivos debían realizarse en condiciones asépticas y retomó el método de desinfección de James K. Wilson que consistía en una solución al 2 % de hipoclorito de calcio. A partir de entonces los métodos de desinfección han mejorado. Robbins consideraba, a diferencia de Haberlandt, que “al no observarse condiciones estériles, se generan dudas sobre las conclusiones

³⁵ Robbins (1957) clarifica que desconocía en el momento las investigaciones de Haberlandt, y que no pretendía duplicar experimentos realizados con células animales.

obtenidas [...] en cualquier experimento donde se investigue el uso directo de un compuesto orgánico en plantas” [Robbins, p. 376, 1922]. Se sabe ahora que, en estudios fisiológicos, la interacción de los cultivos con los microorganismos altera los resultados; en laboratorios de propagación, cuando crecen sobre los explantes pueden causar la pérdida de este material biológico (Leifert *et al.*, 1991).

Posteriormente, en 1939, se obtuvieron los primeros cultivos exitosos de tejidos vegetales. En Francia, Pierre Nobècourt y Roger Gautheret, de manera paralela, obtuvieron sus resultados al utilizar ácido indolacético (AIA) en tejido cambial de zanahoria. El AIA se había clasificado como una *auxina*, debido a que inducía el crecimiento en plantas -pues la hormona es responsable de la elongación y división celular (Machakova *et al.*, 2008)- y se consideraba la más potente (Enders y Strader, 2015). Posteriormente, Snow (1935) reportó que el AIA estimulaba la actividad cambial. Gautheret (1982) reconoce que fue debido a estos descubrimientos que utilizó la auxina en sus experimentos en cuanto estuvo disponible.

Dos décadas más tarde, en 1955, Miller logró aislar un factor que promovía la división celular, el cual fue nombrado *kinetina*, un tipo de hormona distinta a la auxina y denominada citocinina. Un par de años después, Skoog y Miller determinaron que el balance de las auxinas y las citocininas en el medio de cultivo influían en la respuesta morfogénica de callos de tabaco. Cuando la auxina se presentaba en mayor proporción que la citocinina, se favorecía la formación de raíces; en el caso opuesto, se formaban brotes (Thorpe, 2013).

No solamente estos descubrimientos fueron relevantes para la fisiología vegetal, también lo fueron posteriormente para incrementar la eficiencia de la técnica de cultivo de tejidos vegetales, ya que las hormonas, según el tipo, cantidad, proporción y periodo de uso, permiten alcanzar diferentes objetivos en la propagación *in vitro*.

Sin embargo, el cultivo de tejidos no es una técnica rígida o estándar, y la determinación de las condiciones que se requieren para distintas especies es crucial para su éxito. Es importante mencionar, por ejemplo, que también en 1939 en Estados Unidos, Philip White utilizó tumores de híbridos de *Nicotiana glauca* x *Nicotiana langsdorffii* y también obtuvo resultados exitosos, sin añadir la auxina. Observó la formación y desarrollo de brotes, raíces y tejidos vasculares.

Por otra parte, había muchos otros resultados alentadores. En 1965 Vasil y Hildebrant mostraron que era posible regenerar una planta completa a partir de una sola célula; pues hasta entonces se utilizaban porciones más o menos grandes de tejido. Así pues, como puede verse, las investigaciones que se habían llevado a cabo hasta ese entonces tenían como propósito comprender la fisiología vegetal y descubrir las condiciones experimentales que permitían y favorecían la división celular: el papel que jugaban las hormonas, establecer medios de cultivo estandarizados, establecer las condiciones adecuadas de asepsia, entre otros. Fue entonces cuando se pasó de “cómo cultivar los tejidos” a “qué hacer con los tejidos” cuando se obtuvieran (Höxtermann, 2003).

En 1974 Toshio Murashige propuso en su libro *Plant propagation through tissue culture* que el cultivo de tejidos vegetales tenía el potencial para sustituir a los métodos tradicionales de propagación asexual de plantas como las estacas, injertos y acodos. La primera técnica consiste en cortar una sección de planta que sea capaz de formar un tejido cicatricial, en donde posteriormente surgirán raíces adventicias (Zanoni Mendiburu, 1975); la segunda, en unir dos plantas de diferentes especies, pero del mismo género o familia, y que se comporten como un solo individuo (Irigoyen y Cruz Vela, 2005); y la tercera, en forzar a una rama de una planta a producir raíces mientras está aún unida a ésta, y cuando el sistema radical es suficiente, la rama se separa de la planta madre (Morin, 1980). Murashige reconoció, además, el potencial que tenían las técnicas *in vitro* para producir fármacos y otros productos naturales; mejorar cultivos genéticamente; obtener individuos libres de enfermedades; y una rápida multiplicación clonal de variedades seleccionadas. Haciendo énfasis en las posibilidades que ofrecía el cultivo de tejidos vegetales, sostuvo que “[Haberlandt] probablemente no sospechó que la técnica de cultivo celular se convertiría en un apoyo valioso en actividades con fines económicos” [Murashige. p. 135-136, 1974]. La capacidad de las plantas de reproducirse asexualmente, se aprovecha porque se mantienen las características de interés; a diferencia de las plantas obtenidas por medio de semillas, ya que uno de los resultados de la reproducción sexual es la variabilidad genética. Sus suposiciones se basaron en experimentos que ya se habían realizado antes, como la producción libre de virus de orquídeas; los intentos de obtención de metabolitos

secundarios de la Charles Pfizer Company (1950-1960), la producción de plantas haploides, la fusión de protoplastos, entre otros.

Murashige también creía que era posible combinar los cultivos *in vitro* con los “métodos de preservación en frío”, para preservar germoplasma valioso.³⁶ En su libro, aunque no lo especifica, probablemente se refería a aquellas especies de importancia agrícola. Algunas de estas técnicas, o aspectos del cultivo de tejidos vegetales, se adoptaron e incorporaron en el CICY, por lo que a continuación se explican junto con su contexto histórico e institucional.

Obtención de metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios, también llamados “productos vegetales secundarios”, son productos que resultan del metabolismo secundario de las plantas, y que les permiten a éstas, en muchos casos, sobrevivir en su medio (Hartmann, 1985). Estos productos naturales tienen una importancia taxonómica, por ser caracteres que facilitan la clasificación de algún taxón de plantas. Sin embargo, para el tema que ocupa a este trabajo su importancia radica en el aspecto económico, ya que muchos de ellos pueden utilizarse como fármacos, como componentes de cosméticos, como colorantes o como aditivos alimenticios (Alfermann y Petersen, 1995).

Los metabolitos secundarios pueden ser sintetizados artificialmente, extraídos con métodos químicos directamente desde los tejidos o a través del cultivo celular. Este último método consiste a grandes rasgos en obtener callos (una masa de células, no especializadas, que crecen de manera desorganizada) del tejido de interés y colocarlos dentro de biorreactores donde quedan suspendidos en un medio que favorece la rápida multiplicación de las células.³⁷ Esto genera, en consecuencia, una mayor producción de los metabolitos secundarios. Posteriormente, éstos son recuperados y aprovechados.

Así pues, los cultivos celulares se convirtieron rápidamente en una herramienta importante en el estudio del metabolismo secundario en plantas debido a que ofrecían la posibilidad de un abasto continuo del material de estudio y el uso de diversas estrategias

³⁶ En 1956 se demostró por primera vez que los tejidos vegetales pueden sobrevivir a temperatura del nitrógeno líquido (-196°C).

³⁷ Recipiente en el cual se lleva a cabo la reacción catalizada por enzimas o células, libres o inmovilizadas, junto con los mezcladores, equipos de toma de muestra y aparatos de control.

para activar rutas biosintéticas, debido al aislamiento de condiciones ambientales (Vázquez-Flota y Loyola-Vargas, 2003). Las técnicas *in vitro* presentan una ventaja cuando la extracción de los metabolitos secundarios es difícil, y también hacen posible obtener los productos deseados en cualquier parte del mundo, pues la mayoría de las plantas requeridas crecen en regiones subtropicales y tropicales. No se necesita utilizar herbicidas o insecticidas, las células vegetales crecen más rápido en un biorreactor que en campo, los ciclos de extracción del compuesto requerido se reducen a semanas, en vez de años (Alfermann *et al.*, 2003) y la acumulación del compuesto de interés es homogéneo (en la naturaleza varía de población en población por las condiciones climáticas) (Robert *et al.*, 1993).

En el CICY los estudios sobre la síntesis de metabolitos secundarios utilizando cultivos celulares comenzó, como veremos en el próximo capítulo, en 1985 (Vázquez-Flota y Loyola-Vargas, 2003), aunque Víctor Loyola Vargas había comenzado sus investigaciones previamente. Loyola-Vargas (2010) menciona que la idea de un proyecto de metabolitos secundarios surgió por la preocupación de investigadores en el CICY por la necesidad del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) de importar medicamentos contra el cáncer. Así, pues, tomando en cuenta que los alcaloides vincristina y vinblastina tienen propiedades citotóxicas y se obtenían a partir de *Catharanthus roseus* se optó por desarrollar líneas celulares para producir los alcaloides *in vitro*.³⁸

A su vez, las investigaciones sobre la producción de los alcaloides, tales como el establecimiento de las suspensiones celulares, la obtención de protoplastos, la determinación del contenido en los cultivos -entre otras técnicas- requirieron y promovieron la formación de recursos humanos: técnicos y especialistas familiarizados con las nuevas técnicas.³⁹ En ese contexto, se concretó la creación de la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de las Plantas en el CICY. Es decir, esta aplicación del cultivo de tejidos fue posible y tuvo consecuencias gracias al contexto institucional.

Si bien este era el objetivo de los investigadores del CICY, había antecedentes importantes y recientes. El primer fitoquímico producido con éxito y comercializado, a

³⁸ Entre 1950 y 1960 en Canadá y Estados Unidos descubrieron que las hojas de *C. roseus* producían varios tipos de alcaloides, incluyendo la vincristina y la vinblastina. Poco después se comenzaron a comercializar los fármacos. La planta, además, es originaria de Madagascar, por lo que era más sencillo tener cultivos (Loyola-Vargas, 2010).

³⁹ Como se mostrará en el siguiente capítulo, junto con otras publicaciones del CICY.

partir de cultivos celulares, fue la shikonina (Fujita *et al.*, 1982).⁴⁰ Este pigmento se extrae a partir de *Lithospermum erythrorhizon*, una planta perenne nativa de Japón, China y el sur de Asia. Su síntesis química es muy larga y da un rendimiento del 0.7 %, por lo que la producción *in vitro* es mucho más conveniente (Robert *et al.*, 1993). Para 1987 ya existían 30 sistemas de cultivo celular que tenían un mayor o igual rendimiento que las plantas mismas (Wink, 1987). Todo ello parecía proveer de buenas razones prácticas y económicas para apoyar y desarrollar este tipo de investigaciones en el instituto yucateco.

La obtención de metabolitos secundarios se remontaba a 1950 cuando la compañía farmacéutica norteamericana Pfizer y Co. Inc. New York, fue pionera en su producción industrial. Routien y Nickell, asociados a esta compañía obtuvieron, en 1956, la patente 2,747,334, “Cultivation of plant tissue”, en la que aseguraban que era posible cultivar células vegetales sumergidas, y obtener de ellas materiales útiles (Alfermann *et al.*, 2003; Bhojwani y Dantu, 2013). Ese mismo año Tulecke y Nickell reportaron por primera vez el cultivo de células vegetales a gran escala, con lo que se confirmaba la posibilidad de utilizar el cultivo de tejidos vegetales para impulsar aplicaciones (Bhojwani y Dantu, 2013).

Mejoramiento genético

Generalmente las especies vegetales de interés agrícola y comercial son aquellas que se intenta mejorar. Algunas de las técnicas tradicionales que mejoran los cultivos son la selección de individuos de interés, la hibridación, y las mutaciones (Purohit, 2012); ya sea para obtener un mayor rendimiento, o brindarles mayor resistencia a plagas, enfermedades, y condiciones climáticas desfavorables. La hibridación suele llevarse a cabo al cruzar individuos de líneas puras, es decir individuos homocigotos para la característica de interés. Tradicionalmente, las líneas homocigotas son producto de la autopolinización de la planta madre, y el tiempo que se requiere hasta obtener nuevos individuos homocigotos depende del tiempo que tarda la especie en llegar a la madurez sexual y reproducirse, un ciclo que en algunas plantas puede medirse en años (Purohit, 2012).

Las técnicas que se desarrollaron dentro del cultivo de tejidos vegetales en 1960, las cuales hicieron más eficiente el mejoramiento genético, fueron la obtención de individuos haploides y la fusión de protoplastos. Al buscar una solución al problema del henequén, se

⁴⁰ Por la Mitsui Petrochemical Co. Japan. (Bhojwani y Dantu, 2013).

consideró mejorar genéticamente a la especie, utilizando la fusión de protoplastos. Sin embargo, ni esta técnica ni la formación de dobles haploides se utilizaron para vigorizar al agave. Aun así, es importante entender cuáles eran las ventajas de las técnicas y cómo el cultivo de tejidos vegetales aportaba herramientas al mejoramiento genético, todo ello en el contexto de que era importante encontrar métodos de mejoramiento del henequén, bajo el supuesto de que ello permitiría salvar a la industria yucateca. A partir de individuos haploides, se pueden obtener individuos dobles haploides.⁴¹ Por lo tanto, son equivalentes a las líneas puras de homocigotos y pueden utilizarse en la hibridación. En algunas especies, las plantas haploides se desarrollan de manera natural, como en el tabaco (*Nicotina tabacum*), el maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) (Purohit, 2012) y en el toloache común (*Datura stramonium*), planta venenosa en la cual Albert F. Blakeslee y colaboradores descubrieron la haploidía en angiospermas en 1922.

En 1964, Sipra Guha y Satish C. Maheshwari en la India obtuvieron la formación de embriones haploides a partir del cultivo de anteras de *Datura innoxia*. La cantidad de embriones que obtuvieron varió según el medio de cultivo; y en ese momento no se identificó si aquéllos surgieron a partir de los granos de polen, o del tejido conectivo. Sin embargo, este descubrimiento fue sin duda el primer paso en la producción de dobles haploides. De hecho, tres años después, Jean Pierre Bourgein y Jean Paul Nitsch continuaron este trabajo y se aseguraron de que los embriones haploides se desarrollaran en plantas completas (Gautheret, 1982). Por medio del cultivo de tejidos, pueden obtenerse plantas haploides a partir de tres vías diferentes (Xu, 1990; Purohit, 2012): la androgénesis, que se refiere al cultivo de anteras o microsporas; la ginogénesis, que incluye el cultivo de óvulos, ovarios, células del saco embrionario, e incluso el megagametofito (en el caso de gimnospermas); y la eliminación de cromosomas de una planta parental, en un híbrido.

Por otro lado, pronto se observó que los híbridos formados por la fusión de protoplastos, mantienen la capacidad de dividirse, crecer y regenerar a un organismo completo (al igual que los protoplastos) (Vasil, 1976).⁴² A grandes rasgos, los protoplastos se aíslan, se induce su fusión, posteriormente se forma una pared celular

⁴¹ Los individuos haploides son aquellos que poseen el número cromosómico gamético (Raghavan, 1990) y se convierten en dobles haploides por diploidización (Reinert *et al.*, 1977).

⁴² Los protoplastos son las células vegetales a las que se les remueve la pared celular y están rodeadas únicamente por la membrana celular (Hanstein, 1880; citado por Cocking, 1972).

alrededor del híbrido y finalmente se da la división celular del híbrido. La fusión de protoplastos era una vía alternativa para la hibridación de especies en las que se presentaban dificultades para realizar cruzamientos por el método convencional, ya fuese por problemas de infertilidad, bajo o nulo porcentaje de germinación, o arresto del desarrollo de embriones cigóticos por desarrollo de embriones nucleares, por ejemplo (Kobayashi *et al.*, 1988).

Lo anterior implicaba que era posible obtener híbridos entre especies dentro de un mismo género, o de distintos géneros, y que sería posible mejorar genéticamente especies de importancia agrícola. Un ejemplo son los híbridos que se obtuvieron de tomate y papa (Melchers *et al.*, 1978); por otro lado, en 1988 Kobayashi *et al.* lograron la fusión de protoplastos de naranja y mandarina, pertenecientes a la familia de los cítricos. Ninguno de estos híbridos podía obtenerse por los métodos convencionales. Así pues, pronto se consideró utilizar esta técnica para mejorar al henequén, debido a que el ciclo de vida de *Agave fourcroydes* es muy largo y usualmente de su reproducción sexual no se obtienen semillas viables, como se mencionó en el capítulo anterior. Como factor adicional tuvo que ver la influencia de Edward Cocking sobre su alumno Robert Díaz, quien se encargaría del proyecto de micropropagación del agave.

En 1960 Cocking publicó una técnica enzimática que hacía posible aislar un alto número de protoplastos.⁴³ Las primeras técnicas eran mecánicas, por lo que el rendimiento de protoplastos era bajo, y estaban limitadas a células relativamente grandes (Vasil, 1976).⁴⁴ Una década después, Kao y colaboradores observaron por primera vez la división celular de protoplastos de soya. Añadieron sorbitol y sacarosa al medio, como estabilizadores osmóticos. Esto permitió la regeneración de paredes celulares nuevas; y posteriormente, la división celular. Por último, la fusión de protoplastos se volvió replicable cuando Power y colaboradores indujeron la fusión utilizando nitrato de sodio 0.25 M. en 1970.

La desventaja de la fusión de protoplastos, sin embargo, radicaba en que los procedimientos eran hasta cierto punto empíricos, y que para finales de los años ochenta del

⁴³ Preparación de celulasa extraída del hongo *Myrothecium verrucaria* (Cocking, 1960).

⁴⁴ Cabe mencionar que fue Ernst Küster quien en 1909 había observado por primera vez la fusión espontánea de protoplastos; aunque su aislamiento se remonta a 1892 (Klercker).

siglo pasado, aplicar la técnica con cereales y leguminosas era el mayor reto (Maheshwari *et al.*, 1986). Tomando en cuenta que éstos eran considerados los cultivos más importantes y que el rendimiento de híbridos obtenidos no era considerablemente alto, en ese entonces se consideraba que con la fusión de protoplastos no se había llevado a cabo una mejora real en especies de importancia agrícola (Bengochea y Dodds, 1986).

Así pues, aunque ésta parecía la vía adecuada para mejorar genéticamente al agave, finalmente se optó por la propagación *in vitro* del henequén. En el siguiente capítulo se describirá brevemente el método y se hará un énfasis en las ventajas que existen sobre la fusión de protoplastos, en este problema en particular. Por ahora, debemos aclarar qué es la propagación *in vitro*.

Propagación *in vitro*

La propagación *in vitro*, o micropropagación, es una más de las actividades que se llevan a cabo en el CICY, a raíz de la multiplicación *in vitro* de *Agave fourcroydes*, pues al presentarse resultados exitosos se justificó el uso de la técnica con otras especies. A partir de entonces, el área de micropropagación de especies ha sido de gran importancia dentro del Centro.

La propagación *in vitro* se caracteriza por generar un amplio número de plantas a partir de una sola, o fragmentos de ésta (explantes), libres de patógenos. En la década de 1970, dichas características resultaban atractivas. Boxus y colaboradores (1977) mencionaron que así no sería necesario “batallar” con las enfermedades en los campos, y al mismo tiempo se podrían obtener varios millones de plantas a partir de una sola planta madre, en un año.

Existen tres vías de propagación de cultivo de tejidos vegetales: la organogénesis, la embriogénesis somática, y la activación de yemas preformadas.⁴⁵ Las primeras dos se refieren a la formación *de novo* de órganos (en el primer caso) o embriones (en el segundo) directamente desde el explante, o indirectamente (a partir de un callo). La tercera vía se lleva a cabo a partir del crecimiento y proliferación de meristemos pre-existentes. Cabe resaltar que el cultivo de meristemos se observó por primera vez con Robbins (1922) y Kotte (1922); la organogénesis con los experimentos de Nobècourt (1939), Gautheret

⁴⁵ Embriogénesis somática se refiere a la formación de embriones que no son resultado de la reproducción sexual, sino por la dediferenciación de una célula somática.

(1939) y White (1939); por su parte, la embriogénesis somática fue observada por primera vez por Steward (1966) y colaboradores, y Reinert (1968).

Debido a que los microorganismos pueden provocar pérdida de individuos, los experimentos deben realizarse en condiciones estériles y se desinfecta previamente el material vegetal con el fin de remover patógenos superficiales. Sin embargo, no es sencillo eliminar a los patógenos endógenos, y el cultivo de meristemos es una ventaja, ya que se pueden obtener plantas libres de virus, endoparásitos y hongos.

La importancia de la multiplicación clonal a partir de meristemos se reconoció en 1960 cuando G. Morel propagó orquídeas, debido a su importancia comercial. Y fue en 1977, con la publicación del libro *Applied and Fundamental aspects of Plant Cell, Tissue, and Organ Culture*”, poco después de las sugerencias de Murashige, que se dieron a conocer algunos protocolos de propagación de especies de importancia comercial y agrícola: la caña de azúcar, orquídeas, el género *Citrus*, café, fresas, cereales, algodón y hasta especies forestales. La nueva técnica se promocionó a partir de la ventaja de producir grandes cantidades de plantas, no sólo tiene importancia económica, sino alimenticia.

Este argumento ha sido parte de la propaganda de numerosos proyectos agrícolas de la segunda mitad del siglo veinte, principalmente la Revolución Verde. La población mundial, se sostiene, ha crecido considerablemente desde mediados del siglo XX, y la demanda de alimentos ha incrementado también, por lo que pareciera que las soluciones científicas y tecnológicas deben estar a la orden, pese a que la historia muestra que los proyectos son bastante más complejos y que los resultados no son siempre los esperados. Las técnicas tradicionales de producción, se dice, no son capaces de abastecer al mercado mundial, y se espera que la población siga aumentando (Purohit, 2012). Incluso, propagar plantas ornamentales promueve el aprovechamiento sustentable, y disminuye la necesidad de extraer individuos silvestres, una práctica que pone a las especies vegetales en peligro de extinción. Si bien estos son argumentos razonables, es importante resaltar que este tipo de afirmaciones son comunes para otras técnicas y avances, y que reflejan antes que nada el interés creciente de un grupo de científicos y funcionarios por impulsar ciertos campos de investigación – a veces a costa de otros. No se pretende dejar con esto la impresión de que el cultivo de tejidos sea una quimera o un conjunto de esperanzas incumplidas. Como puede verse de lo anterior, el cultivo de tejidos vegetales también se puede utilizar como un

complemento a las estrategias de conservación. Es decir, propagar plantas *in vitro*, a partir de semillas para mantener la variabilidad genética, y después reintroducirlas a su hábitat natural. Y se sigue el mismo principio que el usado para la propagación con fines comerciales.

Sin embargo, un problema que puede presentarse durante la propagación *in vitro* de las especies vegetales es durante la etapa final de aclimatización.⁴⁶ Debido a que las plantas que crecen *in vitro* son más susceptibles al estrés que provoca el medio natural, por causa de alteraciones en la formación de sus tejidos.⁴⁷ Durante la aclimatización dichas deformaciones pueden corregirse ya sea por modificaciones en los tejidos persistentes (es decir, formados durante el cultivo *in vitro*) o porque los tejidos de órganos nuevos (generados durante la aclimatización) son semejantes a los de plantas cultivadas de manera tradicional (Fabbri *et al.*, 1986). Estas y otras dificultades, sin embargo, no fueron previstas ni mucho menos publicitadas al momento de creación del CICY, en el que los intereses de los científicos, el gobierno estatal y el federal parecían coincidir en la necesidad de hacer algo a favor del henequén, si bien una mirada más cuidadosa nos revela una mayor diversidad de objetivos e intereses propios de cada uno de estos grupos. La lista de técnicas y aplicaciones posibles, terreno de los científicos, fueron bien utilizadas para justificar la inversión en uno de los primeros centros de investigación del recién creado CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), y con ello garantizar un necesario argumento a favor de la política de desarrollo del gobierno de ese sexenio. Como veremos en el siguiente capítulo, la movilización del cultivo de tejidos como una técnica prometedora se convirtió en el objeto que concentró a científicos, políticos y desarrolladores, aun cuando - para entonces- ya no había forma de revivir el auge del oro verde.

Conclusión

El cultivo de tejidos vegetales es biotecnología que hace posible el cultivo de células, tejidos y órganos vegetales en condiciones asépticas en un medio artificial (líquido o estático) que contiene sales, azúcares, vitaminas y reguladores de crecimiento vegetal

⁴⁶ Este término se refiere a un proceso en el cual las plantas son expuestas de manera gradual a condiciones *ex vitro*, tales como una humedad menor, una mayor intensidad de luz y patógenos (Hazarika, 2003).

⁴⁷ Deposición disminuida de cera en la superficie de las hojas; formación deficiente de tejidos vasculares, esclerenquima y colénquima; células irregulares en la epidermis; parénquima empalizada reducido; y menor número de estomas, por mencionar algunos (Isah, 2015; Soares *et al.*, 2012).

(Kumar y Singh, 2009). Esta técnica, aparentemente sencilla, dio un gran salto en su efectividad y estandarización desde que Gottlieb Haberlandt planteó por primera vez el cultivo de células vegetales aisladas en 1902, pero es importante recordar que una “historia lineal” tiene sentido solamente cuando rastreamos los antecedentes mirando desde el presente hacia el pasado.

En sus inicios, el cultivo celular se utilizó para llevar a cabo investigaciones con respecto a la embriología, anatomía y fisiología de los organismos, pues era más sencillo observar ciertos procesos en condiciones controladas y aisladas de la influencia de la planta completa. El alcance de las técnicas en la biotecnología, la industria y la agricultura, no fue considerada por los investigadores de principios del siglo veinte. El uso del cultivo de tejidos vegetales como una herramienta biotecnológica, con aplicaciones en actividades de interés comercial, después de 1970, sin duda influyó en que se consideraran las técnicas de micropropagación para aportar una solución al declive de la industria henequenera yucateca.

Las promesas concretas de este grupo de técnicas incluían el mejoramiento genético mediante la fusión de protoplastos como método para combinar genotipos, la producción de dobles haploides que podían generar líneas puras, aptas para hibridar cultivos, la producción masiva de plantas en tiempos cortos, la obtención de metabolitos secundarios, y la obtención de individuos libres de virus. Estas promesas fueron abanderadas por distintos grupos, científicos y políticos (federales y locales), en el contexto preciso de la pérdida de mercados y producción del henequén. Si bien este no fue el único factor, en el siguiente capítulo se abordará el contexto social y político en México que promovió la creación del CICY y el desarrollo de sus investigaciones, y que lo llevaron a convertirse en un centro de importancia internacional.

Capítulo 3

El Centro de Investigación Científica de Yucatán

Además de la importancia del henequén y el nuevo enfoque del cultivo de tejidos vegetales, las condiciones que propiciaron el desarrollo de la ciencia nacional también son importantes para explicar la creación de un espacio cuyo origen estuvo entrelazado con la historia local del henequén. De estas condiciones se hablará en este capítulo. La planeación de la ciencia y tecnología es un fenómeno reciente en México, comenzando en la época posrevolucionaria con el objetivo de fomentar, sobre todo, la educación de las profesiones útiles para la nación. Sin embargo, en el contexto internacional la producción de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial evidenció una nueva relación entre ciencia y Estado, de índole político y militar. Por ello, los Estados continuaron involucrándose en la investigación científica, y ésta dejó de ser exclusiva de los académicos (Abir-Am, 1982; Gall, 1987).

Mientras tanto, en México un grupo de científicos aprovechó la asociación de ciencia y progreso para mejorar la institucionalización de la ciencia y la tecnología, aunque parece que dicha conexión no parecía obvia o prioritaria para el Estado, hasta la creación del CONACyT en 1970. Aun así el Consejo debía legitimarse recalando la relación ciencia-desarrollo. Aunado a esto, la creación del Centro de Investigación Científica de Yucatán a finales de la década de 1970 estuvo relacionada con la descentralización científica, pues casi todas las instituciones académicas se encontraban en aquél entonces en el llamado Distrito Federal, y actualmente Ciudad de México, y al ligar directamente el desarrollo económico con la solución de problemas regionales específicos a través de la ciencia, se fomentó la creación de diversos centros científicos a lo largo de la República. Estos factores, junto a la llegada del cultivo de tejidos vegetales a nuestro país, sus promesas y las expectativas en la industria permitieron que el CICY se haya convertido en

uno de los principales productores de investigaciones en dicha disciplina a nivel nacional e internacional.

Institucionalización de la ciencia en México: del CNESIC al CONACyT.

Se considera que el proceso de institucionalización científica en la República Mexicana inició en el periodo postrevolucionario, durante el cardenismo, a partir de la creación del Consejo Nacional de Educación Superior y de la Investigación Científica (CNESIC), en 1935, por tratarse de un órgano que vincularía a la educación y la investigación científica con el desarrollo socioeconómico del país (Riquelme Alcántar, 2009). El CNESIC fue uno de los antecedentes institucionales más claros de la centralización de la ciencia. Sin embargo, María de la Paz Ramos Lara (2006) considera que los inicios del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, creado por la promulgación de Ley correspondiente en 1970, fueron sentados por la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC), de 1943. A ésta le sucedió el Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC) en 1950. Cada uno de estos organismos tenía objetivos y recursos distintos, según la percepción que se tenía sobre la ciencia y su papel en la sociedad en su momento, así como las maneras de vincularla con el desarrollo económico.

La creación del CNESIC fue una solución a las disputas que existían entre el Estado y la Universidad Autónoma de México (hoy en día, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM), mismas que se agudizaron cuando en 1933 se estableció la educación socialista en el texto constitucional (Riquelme Alcántar, 2009). Debido a que la Universidad era uno de los principales focos de resistencia (ya fuera por el desacuerdo con el adoctrinamiento mismo, la intervención del gobierno, o las ideas socialistas), Cárdenas fue aconsejado por Narciso Bassols para formar un organismo que le permitiera al Estado “tomar a cargo” la educación y la investigación científica, y al mismo tiempo minar el poder de la Universidad (Riquelme Alcántar, 2009). Por supuesto, en este órgano, Cárdenas vio la posibilidad de poner la ciencia y la educación al servicio de la clase trabajadora, acorde con su plan de gobierno, y reconociendo que se necesitaba de ambas como pilares del desarrollo nacional (Riquelme Alcántar, 2009).

Según la investigación de Gabriela Riquelme Alcántar, del CNESIC se esperaba la planeación de infraestructura necesaria en el ámbito educativo y científico, así como la

elaboración de planes de estudio; formar directivos técnicos que a mediano plazo ofrecieran soluciones a problemas de salud, vivienda y educación, y a largo plazo, encargarse de la industrialización del país (SEP, 1941); y funcionar como un órgano de consulta para el Ejecutivo.

El Consejo apoyó proyectos educativos que tiempo después se convertirían en importantes instituciones, como es el caso del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Instituto de Enfermedades Tropicales (ISET) -entre otras, en las que no se profundizará en el presente trabajo-; sin embargo, no cumplió con todos sus cometidos, debido a los conflictos políticos que existían con la Universidad Autónoma de México y la Secretaría de Educación Pública (SEP), que veían en este organismo una amenaza contra su autoridad en temas de educación y ciencia, además de los conflictos internos de los cuales no está exenta ninguna institución (Riquelme Alcántar, 2009).

En 1943 al Consejo le sucedió la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica, por la promulgación de Ley del entonces presidente Manuel Ávila Camacho. En dicha Ley, Ávila Camacho menciona que la creación de la CICIC se llevaba a cabo considerando que el progreso industrial y agrícola de México dependían del avance de la ciencia (pura y aplicada) y la tecnología, y que la Segunda Guerra Mundial imposibilitaba la importación y exportación de productos industriales y manufacturados necesarios. Es decir, debido al conflicto bélico, los países llamados desarrollados desatendían el abastecimiento de países subdesarrollados, como era el caso de Estados Unidos y México, y por ello el Estado debía procurar el desarrollo industrial (Domínguez Martínez, 2000). Así pues, el objetivo de la Comisión era “promover la investigación científica en ciencias básicas y aplicadas para resolver problemas nacionales vinculados con la industria, la agricultura y la salud pública” [Ramos Lara, p. 349, 2006] por medio de la preparación de técnicos e investigadores, el mejoramiento de la infraestructura científica.

Sin embargo -de manera similar al CNESIC- existían otros motivos detrás del discurso oficial, que salen a la luz al indagar sobre el director de la Comisión, el físico Manuel Sandoval Vallarta. En aquel entonces era profesor titular en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT, por sus siglas en inglés) (Minor García, 2015). Poco antes de su regreso, Sandoval Vallarta repartía su tiempo entre el MIT y diversos cargos en instituciones mexicanas hasta 1946, cuando renunciara a su cargo en los Estados Unidos

para residir definitivamente en México (Moshinsky, 1987; Minor García, 2015). Como menciona Raúl Domínguez Martínez (2000) el célebre físico recibió muchas propuestas para ocupar puestos académicos importantes a su regreso en 1943. Manuel Sandoval fue Presidente y Vocal Físico-Matemático de la Comisión (1943-1950), profesor de física en la Facultad de Ciencias de la UNAM (1943-1945), investigador en el Instituto de Física de la UNAM (1944-1963) y director del mismo de 1944 a 1945, y director del IPN (1944-1947), entre otros cargos que ocuparía después.

Según Ruth Gall (1987) es probable que el retorno del físico fuera resultado de la explosión de las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki, pues este evento significó para muchos científicos que la ciencia era un recurso político y militar. Presume, además, que quizá México representaba para Sandoval un refugio desde el cuál podía luchar por el uso pacífico de la energía nuclear, y no descarta que tuviera la intención de desarrollar la ciencia a nivel nacional. Una interpretación más detallada y apoyada en numerosos archivos muestra una imagen distinta. Según la investigación de Adriana Minor García (2015) el regreso de Manuel Sandoval a nuestro país sería resultado de los conflictos que le generaba ser mediador del intercambio científico entre Estados Unidos y Latinoamérica. Debido a su nacionalidad mexicana y su formación norteamericana era un buen candidato para dirigir el Committee on Inter-American Scientific Publication (CIASP), una medida más de la Nación Americana para contener la influencia del nazismo o fascismo europeo en América Latina (Minor García, 2015). Sandoval regresó a México en 1942 como parte de su agenda para formar la Inter-American Academy of Sciences, pero sus viajes fueron interrumpidos porque al poco tiempo se le requeriría como docente en el MIT para suplir a los profesores reclutados para investigaciones militares, y por la suspensión de sus fondos (Minor García, 2015). Según la investigación de Minor García (2015) el físico estaba dispuesto a volver como docente con la condición de que se consideraran sus actividades al frente del CIASP y se le permitiera continuar con ellas, pero su petición fue rechazada, Sandoval Vallarta tenía que elegir entre quedarse en México o Estados Unidos, por lo que continuó en su país natal con licencias no remuneradas -ocupando los cargos antes mencionados y sin renunciar a su puesto en el MIT- y optó por colaborar con Ricardo Monges López y Julio Klein para elaborar la propuesta de Ley que crearía la CICIC a finales de 1942, a sabiendas de que el presidente Manuel Ávila Camacho aceptaría y que

ello significaría una solución a sus dilemas. Sandoval Vallarta no pudo continuar en el MIT a partir de 1946 por disposición del Instituto.

Curiosamente, la misma importancia política que le permitió a Sandoval formar la CICIC y ocupar diversos cargos académicos altos, no fue aprovechada por el físico para hacerse de más fondos para la Comisión (Moshinsky, 1987). Aun así, con muy pocos recursos, la Comisión pudo colaborar con distintos proyectos de geología, medicina, fisiología, biología y química; creó varios laboratorios, comités y comisiones, además de subsidiar investigaciones, y apoyar publicaciones científicas y revistas de difusión (Ramos Lara, 2006). Asimismo, debido a que Manuel Sandoval estaba a cargo del Instituto de Física y el IPN, estos se vieron beneficiados. Por ejemplo, la biblioteca del Instituto recibió sus primeros libros gracias a la donación de la Embajada de EU y la CICIC, además de recibir becas (Domínguez Martínez, 2000).

En noviembre de 1950, a la Comisión le sucedió el Instituto Nacional de la Investigación Científica, con el objetivo de fomentar, desarrollar y coordinar las investigaciones nacionales, relacionadas a las matemáticas, física, astronomía, química, biología y geología, y las ciencias aplicadas derivadas. Una vez más, Manuel Sandoval sería Presidente y Vocal Físico, de 1951 a 1963 (Domínguez Martínez, 2000). El INIC se creó con los mismos objetivos que tenía la Comisión, arrastrando su insolvencia económica y falta de personal calificado (Domínguez Martínez, 2000). Es decir, a pesar del discurso político sobre la importancia de la ciencia para el desarrollo, que expresaron en su momento Miguel Alemán, Adolfo Ruíz Cortines y Adolfo López Mateos, los recursos que recibió el Instituto no reflejaban esta creencia, y ni su presupuesto, ni su organización interna tuvieron cambios significativos durante su funcionamiento (Chavero González, 1992). El INIC se dedicó exclusivamente a otorgar becas, subsidiar publicaciones científicas (Chavero González, 1992) y favorecer el intercambio internacional (Domínguez Martínez, 2000).

Es importante mencionar que dentro del periodo de funciones del INIC incrementó el número de científicos mexicanos quienes en su mayoría fueron educados en universidades de Estados Unidos y Europa. En el caso de los físicos, por ejemplo, su formación en el extranjero fue resultado del proyecto *Atoms for Peace*. Éste era un intento por reivindicar a la energía nuclear después del acontecimiento en Hiroshima y Nagasaki en

la Segunda Guerra Mundial. Con el proyecto se internacionalizó el conocimiento científico y con ello Estados Unidos consiguió abrir un nuevo tipo de mercado -el de la tecnología nuclear- mientras que México desde su posición “neutral” se benefició de la importación de los radioisótopos con fines académicos, pues venían acompañados de prácticas, conocimiento y asesores, además de la capacitación que recibían los estudiantes en el extranjero (Mateos y Suárez-Díaz, 2015; Mateos y Suárez-Díaz, 2016).

A pesar de este aumento de la comunidad científica, se seguía percibiendo al INIC como un organismo con muchas limitaciones, por no favorecer la conexión entre el desarrollo científico-tecnológico con el progreso nacional.¹ Como menciona el Lic. Francisco García Sancho (1980) en su recuento sobre la creación del CONACyT, aunque se consiguieran mayores fondos para el INIC, éstos sólo se traducirían en becas, por lo que era necesario reestructurar al Instituto para brindarle más facultades. Sin embargo, no fue posible formular un anteproyecto de Ley para dicho propósito de manera unánime.

García Sancho y el ingeniero Eugenio Méndez Docurro (en aquel entonces Secretario de Comunicaciones y Transportes) le propusieron a López Portillo, Subsecretario de Gobernación, llevar a cabo un estudio diagnóstico sobre el estado de la ciencia y la tecnología en México como parte de la planeación política en dichas materias.

López Portillo aceptó el plan de García y Méndez y se pidió de manera oficial que el INIC elaborara el documento Política Nacional y Programa de Ciencia y Tecnología. En el mismo se propuso la creación del CONACyT (y disolución del INIC) con su filosofía, objetivos y forma de operación.

Según Ma. Teresa Márquez (1982) la investigación llevada a cabo para el documento era el primero en su tipo; sin embargo, Gabriela Riquelme Alcántar (2009) menciona que el CNESIC realizó una evaluación de este tipo y el censo de instituciones de educación superior e investigación científica exponía la falta de infraestructura educativa y científica.² El informe del INIC se entregó a Luis Echeverría, quien acababa de ascender a la presidencia de la república, y aprobó la creación del CONACyT (García Sancho, 1980).

El bioquímico Raúl Ondarza Vidaurreta también fue partícipe de la dirección que tomaría el Consejo pues él, junto con otros investigadores del país, había podido hablar con

¹ Como confirma en entrevista con la autora, el Dr. Raul Ondarza, el 4 de septiembre de 2018.

² Sobre este documento se basaría el CNESIC para crear un proyecto de educación profesional técnica y de investigación (Riquelme Alcántar, 2009).

Echeverría, desde su candidatura a la presidencia, sobre la problemática de la ciencia mexicana.³ Además, el Ing. Méndez también había tenido oportunidad de comentarle a Luis Echeverría sobre el estudio que se estaba llevando a cabo en el INIC (García Sancho, 1980). El Dr. Ondarza conocía algunos de los retos debido a que era un personaje importante en el ámbito científico. Raúl Ondarza cofundó la Sociedad Mexicana de Bioquímica en 1957 y creó la cátedra de Biología Molecular en la Facultad de Ciencias de la UNAM en 1963 (Zentella Dehesa, 1997). El Dr. Ondarza fue Director de los Comités Científicos del CONACyT desde 1971 a 1982, y tuvo un papel muy importante en el proyecto de construcción de los Centros de investigación. En 1971 el bioquímico, en compañía del Ingeniero Víctor Bravo (Secretario de Educación Pública) y el Ingeniero Méndez Docurro (que ahora era Director General del CONACyT, además de estar a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT) consiguió que se otorgara un presupuesto de 20 millones de pesos –que a la fecha equivaldrían aproximadamente a 150 billones - para iniciar el Programa de Descentralización de la Investigación Científica y de la Educación Superior con el que se otorgarían subvenciones a proyectos de distintas regiones del país, debido a que en aquel entonces la investigación científica se enfocaba en el antes llamado Distrito Federal y en algunos estados ni siquiera había universidades (Ondarza Vidaurreta, 2010). Probablemente el éxito de las negociaciones del Dr. Ondarza se debía a que tuvo la experiencia de solicitar apoyo a la Fundación Rockefeller para la Sociedad de Bioquímica en los años 50 (Zentella Dehesa, 1997).

Entonces, como puede verse la creación del CONACyT y el rumbo que tomaría fue posible gracias a la participación de varios actores, entre los que también se encuentra el Estado. Así como los científicos buscaban establecer un órgano centralizador con mayores facultades, la formación de recursos humanos, y la creación de infraestructura científica y tecnológica que promoviera la investigación, es probable que el gobierno mexicano también tuviera otros intereses.

Ruy Pérez Tamayo (2010) especula que es probable que Echeverría aceptara esta propuesta de los académicos mexicanos para restablecer la relación entre el gobierno y la comunidad científica que se había deteriorado con la matanza de Tlatelolco del 2 de octubre

³ Comentario personal del Dr. Ondarza a la autora, el 4 de septiembre de 2018.

de 1968. Es decir, el presidente llevó a cabo políticas que buscaban el apoyo popular y un afianzamiento del régimen priista en un momento de turbulencia nacional e internacional.

Gabriela Soto Laveaga (2009) menciona una situación similar en su trabajo sobre el barbasco. Según esta historiadora, durante su sexenio, Echeverría utilizó el barbasco como el símbolo de una ideología nacionalista, pues además de tener que volver a afianzar lazos con la comunidad científica, debía reconciliar al gobierno con el campo. De esta manera, como relata esta autora, Echeverría justificó la nacionalización de la industria del barbasco y declarando que los campesinos debían ser retribuidos por la manera en la que las compañías farmacéuticas internacionales los explotaban, al pagar un precio injusto por el tubérculo. En 1975 con la creación de Proquivemex (Productos Químicos Vegetales Mexicanos) no sólo se buscaba que México fuera independiente de las compañías transnacionales para crear sus propias medicinas, también se pretendía empoderar a los campesinos (Soto Laveaga, 2009). Echeverría había retomado del gobierno de Lázaro Cárdenas las aspiraciones de la Revolución Mexicana para su discurso, y convenció a muchos campesinos que él sería un presidente diferente, dispuesto a ayudarlos (Soto Laveaga, 2009).

Así, en 1975 el barbasco parecía ser la promesa de una transformación económica y social; pero, si bien por un lado Echeverría se proclamaba como un promotor de la transformación del campo y aliado de sus trabajadores, por el otro promovía la búsqueda y asesinato de los líderes subversivos (Soto Laveaga, 2009). En este sentido, el barbasco compartía características con el henequén, pues se esperaba que con el rescate de la industria el agave volviera a ser una fuerza motora económica y política. Es decir, que regresara al auge del que gozó en el periodo de la guerra y antes de que se desplomaran los precios en el mercado internacional de materias primas (como vimos en el primer capítulo). Sin embargo, como se discutirá más adelante, el papel del henequén en la creación del CICY fue meramente virtual.

Ahora bien, retomando la historia de los órganos predecesores del CONACyT, para Cárdenas la enseñanza técnica debía ser una herramienta de los trabajadores (Pérez Rocha, 1983), para Manuel Ávila Camacho el desarrollo se interpretaba como la autosuficiencia industrial, y -durante sus sexenios- Miguel Alemán y Adolfo Ruiz Cortines se limitaron a disminuir el analfabetismo y solucionar la escasez de escuelas (Guevara González, 1992),

recordemos que durante sus administraciones no hubo cambios significativos en el INIC. Finalmente, Adolfo López Mateos determinó que la industrialización del país consistía en la producción nacional que garantizara el mantenimiento de la población, y no en el desarrollo de proyectos nucleares como los que llevaba a cabo Estados Unidos, determinando así las prioridades para la ciencia y la tecnología (Mateos y Suárez-Díaz, 2015). El Consejo se concibió como institución de carácter consultivo para el Gobierno en materia de Ciencia y Tecnología, y para fomentar la investigación y vincularla con problemas nacionales para alcanzar el desarrollo nacional, como se plasmaría en su libro conmemorativo del décimo aniversario.

“Los estudiosos de la ciencia y la tecnología comparten la convicción de que existen relaciones estrechas entre éstas y el desarrollo. Sin embargo, no se ha precisado la naturaleza de tales relaciones, su cuantificación o la dirección de su orden causal. En lo que sí están de acuerdo es en el hecho de que sin la ciencia y la tecnología no puede existir el desarrollo; en que este último es lo que permite al hombre mejorar sus condiciones de vida, y en los países requieren de una política de autodeterminación científica y tecnológica que los faculte a elegir su propio camino y el orden de prioridades acorde con sus necesidades de desarrollo económico y social.”

[Márquez, p. 23, 1982]

Esta descripción es muy amplia pues menciona por un lado que el desarrollo científico-tecnológico es crucial para el progreso social y que es necesaria una autodeterminación nacional según las prioridades, aunque se desconoce el camino a seguir. A lo largo del texto podemos encontrar otras justificaciones para el desarrollo científico-tecnológico:

“Se postula como indispensable la fijación de un patrón de desarrollo científico y tecnológico propio, para lo cual el país requiere de excelencia científica en las áreas de interés nacional, y libertad de decisión en la búsqueda, selección, negociación, utilización, asimilación, adaptación y generación de tecnología.”

[Márquez, p. 85, 1982]

El objetivo general explícito del libro es presentar los logros del Consejo en materia de ciencia y tecnología usando un lenguaje accesible “para el lector común” (Márquez, 1982). Sin embargo, estudios historiográficos sobre los aniversarios de las instituciones, disciplinas o personajes ilustres, revelan que existen funciones sociales y políticas en las conmemoraciones para legitimar (de diversas formas y por diferentes motivos), por ello las celebraciones suelen estar gestionadas por las mismas instituciones, en las que se recapitula el pasado con fines presentistas (Abir-Am, 1999). Por ejemplo, al 30 aniversario del Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) acudieron personajes políticos importantes, y fue presidido por los fundadores e Isidor Rabi, premio nobel de Física de 1944; Dominique Pestre (1999) menciona que hay que tomar en cuenta que el CERN depende de recursos públicos, por lo que resultaba necesario construirse una buena imagen pública y tener reconocimiento social y político. En el caso del Lawrence Berkeley Laboratory y Los Alamos National Laboratory, que tuvieron una importante participación en el desarrollo de la bomba atómica, la celebración de sus 50 aniversarios se llevó a cabo cuando su futuro estaba en riesgo, en un momento en que se reevaluaba el uso de armas nucleares (Seidel, 1999).

El CONACyT, por su parte, no se encontraba en medio de alguna polémica, pero de manera similar al CERN, depende de recursos públicos por lo que la recapitulación de los logros de las investigaciones financiadas justifica la existencia del Consejo y la continuación de sus funciones. Además, tomando en cuenta el lenguaje sencillo con el que se escribe, probablemente el libro de Teresa Márquez (1982) estaba dirigido a la sociedad, o a los tomadores de decisiones (ya que generalmente en México el lenguaje especializado no suele salir de las esferas académicas), pues se alaba la buena decisión que tomó el Estado con la instauración del Consejo: “La creación del CONACyT representa así, por primera vez en México, el reconocimiento, al más alto nivel gubernamental, de que la actividad científica no es marginal sino una necesidad de la vida nacional.” [Márquez, p. 23, 1982]. “Antes de 1970, en las esferas gubernamentales no se había tomado plena conciencia de la importancia que la ciencia y la tecnología tienen para el desarrollo.” [Márquez, p. 66, 1982]. Por otro lado, es probable que en lugar de legitimar al Consejo frente al Estado, el objetivo haya sido legitimar al Estado frente a la sociedad por medio del desarrollo científico.

Debemos recordar que durante el sexenio de López Portillo (1976-1982) se dio el breve auge petrolero que prometía mejorar la economía nacional, pero que dio pie a una nueva crisis. A mediados de los años 70 las reservas de hidrocarburos pasaron de un conteo de diez mil millones de barriles a setenta mil millones y PEMEX se convirtió en uno de los principales exportadores de crudo a nivel mundial (Aguilar y Meyer, 1989). Entre 1976 y 1981 el valor del petróleo creció de 560 a 14,600 millones de dólares (Aguilar y Meyer, 1989). El presidente López Portillo hizo del petróleo el eje de la economía nacional, y aunque en un principio las finanzas del país comenzaron a estabilizarse con las divisas extranjeras, en 1981 debido a un excedente internacional de petróleo, el precio del barril comenzó a bajar, dejando al país con muchas deudas.⁴ Pero José López Portillo ya había publicado su Plan Nacional de Desarrollo, que abarcaría de 1980 a 1982, con el que se reforzaría la independencia económica, política y cultural. Dentro del Plan se contemplaba una política tecnológica de la cual se derivó el Plan Nacional de Ciencia y Tecnología.

Según el recuento de Ma. Teresa Márquez (1982) el CONACyT había elaborado el Plan Nacional Indicativo de Ciencia y Tecnología, como un marco de referencia, poco antes de que José López Portillo le pidiera al Consejo elaborar el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología, como resultado de una reunión que tuvo el presidente con miembros de la comunidad científica. El Programa se integraría posteriormente al Plan Global de Desarrollo.

“[...] la idea original del sistema de Planeación era a partir de un plan global y, por medio de un proceso deductivo, configurar los planes sectoriales, sin embargo, los hechos determinaron que se invirtiera este propósito [...]. Así, estos planes representaron una valiosa contribución para la concepción y formulación del Plan Global de Desarrollo, que se

⁴ El auge petrolero se dio por la convergencia de diversas situaciones económicas. Por un lado, a mediados de los 70 se habían descubierto nuevas reservas petroleras, y PEMEX que comenzaba como un importador de gasolineras, se convirtió en el cuarto exportador mundial (Aguilar y Meyer, 1989; Mirón y Pérez, 1988). De hecho, nuestro país se convirtió en el principal proveedor de Israel, debido a que Irán suspendió sus suministros (Rico, 1991). Entre 1976 y 1981 el valor del petróleo creció 32 veces (Aguilar-Carmín y Meyer, 1989). México pudo pagar parte de su deuda externa, y al mismo tiempo, el petróleo sirvió de aval para nuevos préstamos internacionales que se invertirían en la industria petrolera (Mirón y Pérez, 1988). Sin embargo, en 1981 se presentó una sobreoferta por parte de Arabia Saudita, junto con otros factores, que provocaron la caída de los precios, y el país entro en crisis por la falta de ingresos para pagar las deudas que había adquirido (Rico, 1991).

enriquece con la experiencia particular de los planes sectoriales, y éstos, a su vez, se orientan por el Plan.”

[Márquez, p. 66, 1982]

El CICY

En su treinta aniversario, el Centro de Investigación Científica de Yucatán publicó un libro conmemorativo en el que se recapitula su fundación, su misión, sus logros, y nuevos objetivos. Según la narrativa, la idea de crear un Centro de investigación en el estado de Yucatán surgió cuando el Lic. López Portillo y el Dr. Edmundo Flores, Director General del CONACyT, se reunieron con henequeneros en Yucatán (Ondarza Vidaurreta, 2010). El presidente le solicitó al Dr. Flores que “concretara los estudios para la instalación del Centro de Investigación Científica de Yucatán” (Luna Kan, 2010). El Director del CONACyT, posteriormente, le solicitó a Raúl Ondarza Vidaurreta la creación de un Centro sobre el Henequén. El Dr. Ondarza ya había colaborado previamente en la creación de centros de investigación: el Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (CIBNOR) en 1975, el Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES) en 1975 y que ahora es el Colegio de la Frontera Sur, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) en 1973 y el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en 1976 (Ondarza Vidaurreta, 2010).

De acuerdo al Dr. Ondarza, el objetivo era vincular los centros de investigación a la resolución de problemas regionales. Esta actitud pragmática, en la que la ciencia debía conectarse estrechamente con las necesidades locales, derivaba en parte de su experiencia como químico en la industria farmacéutica, y en especial a su estancia en los laboratorios Lederle - la división farmacéutica de la compañía American Cyanamid- en los años cincuenta y hasta poco antes de la fundación de la Sociedad de Bioquímica de México.

Una vez que se le había encargado la creación de un nuevo Centro en Mérida, el Dr. Ondarza se reunió con diferentes investigadores así como con el entonces Gobernador de Yucatán, el Dr. Francisco Luna Kan quien ofreció apoyo económico y moral (Ondarza Vidaurreta, 2010). Dicho apoyo “moral” en realidad puede traducirse como un apoyo político, pues Luna Kan pertenecía al mismo partido político que los Lic. Luis Echeverría y López Portillo (el Partido Revolucionario Institucional), y era simpatizante de ambas

administraciones, de hecho era amigo de López Portillo, lo que seguramente facilitó las negociaciones. En esto, retrata la biografía de muchos políticos de ese periodo, que veían como el único camino pragmático enlistarse en las filas del partido dominante, el PRI.

El Centro de Investigación Científica de Yucatán fue inaugurado el 16 de Noviembre de 1979, y comenzó sus operaciones sin instalaciones, equipo ni director general (Higuera Ciapara, 2010). Se inauguró como una asociación civil entre el CONACyT, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), la UNAM, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) y el Gobierno del Estado de Yucatán (Ondarza Vidaurreta, 2010). Raúl Ondarza menciona que se inauguró como asociación civil, porque ya no “había tiempo” para que López Portillo lo creara por Decreto Presidencial.⁵

Es importante mencionar que el Centro comenzó con un presupuesto de 20 millones de pesos, obtenidos gracias a un acuerdo entre el Dr. Ondarza y López Portillo. No solamente por las habilidades políticas del investigador, también porque estaba ocurriendo el llamado auge petrolero. Es decir, la economía nacional hizo posible que se otorgara ese fondo, y probablemente, del mismo modo, fue posible la creación de los otros centros de investigación. Manuel Robert (2010) menciona que en un inicio el CICY gozaba de un presupuesto muy generoso, pero que éste no duró.

Las acciones para conformar y organizar el CICY comenzaron en 1980 (del Castillo Mora, 2010). De hecho, el Centro no tuvo director general, sino hasta el 6 de Junio de 1980 cuando se nombró al Dr. Luis del Castillo Mora (Luna Kan, 2010; Ondarza Vidaurreta, 2010). Aunado a esto, se pretendía que el CICY actuara como una agencia del Consejo, para únicamente financiar proyectos relacionados al henequén, por lo que su labor se restringía a evaluar proyectos y brindarles recursos (del Castillo Mora, 2010). Eventualmente, sin embargo, se logró que el Centro generara investigación propia, gracias a que cuando se seleccionaban y financiaban los mejores proyectos, se realizaban convenios en los cuales las instituciones participantes incorporaban a investigadores, técnicos y estudiantes financiados por el CICY (del Castillo Mora, 2010).

Posteriormente se construyeron las instalaciones del CICY, en un henequenal abandonado proporcionado por el Gobernador de Yucatán, Francisco Luna Kan (Higuera

⁵ Comentario personal del Dr. Ondarza a la autora, el 4 de septiembre de 2018.

Ciapara, 2010), y pudieron trasladarse los grupos de investigación a Mérida, en 1982, donde se conformaron el Departamento de Química, el Departamento de Biología Vegetal, y el Departamento de Recursos Naturales.⁶ El Departamento de Recursos Naturales estuvo a cargo de la construcción del Jardín Botánico Regional del CICY en 1983, donde se tienen colecciones representativas de la flora de la península de Yucatán, y viveros donde se encuentran individuos sujetos a experimentación (del Castillo Mora, 2010).

El Departamento de Química estaba conformado por el departamento de Polímeros, encargado de estudiar la celulosa y derivados; y el de Química Orgánica, encargado en transformar esteroides derivados del jugo de henequén (del Castillo Mora, 2010).

Dominique Pestre (1999) menciona que los científicos tienden a construir narrativas coherentes alrededor las hipótesis y soluciones a problemas previamente debatidos y aceptados. Así, en este caso, la historia del CICY está construida alrededor del agave porque su objetivo era encontrar una solución al problema de la industria. En un principio, se pretendía que el Centro llevara en su nombre al henequén, sin embargo, Raúl Ondarza Vidaurreta temía que: “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” [Ondarza, p. 15, 2010]. Es decir, que los henequeneros podrían interpretar que el Centro estaba a su servicio, lo cual restringiría su potencial de investigación.⁷ Una situación similar ocurrió con Proquivemex, pues al ser un instituto con fines de “justicia social” el fin era empoderar a los barbasqueros y ayudarlos a recibir pagos justos por su labor (Soto Laveaga, 2009). Sin embargo, a diferencia de los barbasqueros, que incluso llegaron a temer que la intervención del Estado entorpeciera las negociaciones con las compañías transnacionales, la mayoría de los henequeneros eran propietarios de sus haciendas y por lo tanto no necesitaban empoderarse más, y no dudarían en sacarle provecho al CICY. Quizá de ahí surgía la preocupación de Ondarza, de modo que él le propuso al director del CONACyT que el Centro fuera de Investigación Científica de Yucatán.

⁶ El Departamento de Bioquímica estaba conformado por el grupo de investigación del Centro de Investigación de Materiales de la UNAM, dedicado a estudiar los materiales compuestos por polímeros y fibras de henequén; el Departamento de Biología Vegetal Inició con el proyecto de micropropagación de agaves, con el Departamento de Bioquímica de la Facultad de Química de la UNAM; el Departamento de Recursos Naturales estaba dedicado a evaluar los recursos naturales de la región. Se investigaron las variedades silvestres y cultivadas del henequén, desde el punto de vista biológico y del fisiológico, para evaluar sus fibras, cantidad de sapogeninas, entre otros (del Castillo Mora, 2010).

⁷ Comentario del Dr. Ondarza a la autora, el 4 de septiembre de 2018.

A pesar de que el nombre pudo haber causado problemas políticos al Centro, el henequén es mencionado varias veces a lo largo del libro conmemorativo, y es evidente que actúa como el nexo entre los logros y las investigaciones que se derivaron del éxito de las anteriores. Además de dar un sentido de unidad a los laboratorios que conforman el CICY.

Además, ya que las conmemoraciones son utilizadas para sugerir permanencia y legitimidad al declarar el valor de la institución a través de su pasado y su eficacia, y que aquél puede actuar como un ancla o una vela (Seidel, 1999), el CICY no puede seguir utilizando al henequén como parte de su misión, debido a que ya no es prioritario para la economía yucateca, pero actúa como una bisagra entre el presente y futuro de sus proyectos, pues recalcan que las investigaciones sobre el henequén dieron pie para las siguientes.

“ [...] los proyectos con otras especies del género, como *Agave tequilana* Weber desarrollado, inicialmente para la compañía Tequilera Cuervo, y posteriormente y a lo largo de muchos años para Tequila Herradura [...] y *A. angustifolia* Haw. (bacanora), desarrollado en colaboración con el CIAD, han mantenido activa la investigación sobre agaves durante estos años. El conocimiento y la experiencia adquiridos con el henequén han sido claves en el éxito del desarrollo de estos otros proyectos.”

[Robert, p.45-46, 2010].

“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.”

[del Castillo Mora, p. 25-26, 2010]

Probablemente el libro conmemorativo del Centro justifique que a pesar de que ya no se necesita resolver la crisis henequenera, el CICY es útil para realizar investigaciones similares y resolver otros problemas regionales de Yucatán. Además, debido a que el Centro depende de recursos públicos, necesita generar una buena imagen ante la sociedad, como el CERN y el CONACyT.

Por otro lado, salta a la vista que esta historia sobre el CICY es contada por participantes de su fundación, y sus testimonios son fuente valiosa de información primaria. Soraya de Chadarevian (1997) menciona que las entrevistas brindan datos sobre toma de decisiones, redes interpersonales, prácticas, sus perspectivas individuales. En este caso, la narrativa no es el resultado de un diálogo (como sucedería en una entrevista) más bien la comunicación va en un solo sentido (escritor a lector), pero se pueden apreciar estos datos cuando se habla de la fundación del CICY. Los diferentes actores, Luis del Castillo, Ondarza, Francisco Luna Khan, por mencionar algunos, tienen su propia versión y dan perspectivas múltiples que se complementan y constituyen una secuencia de eventos, como menciona de Chadarevian (1997) basada en su experiencia como historiadora.

Sin embargo, dichos testimonios no son suficientes para construir la historia del CICY, ya que los entrevistados (o en este caso los narradores) dan su versión de tal manera que se favorecen a sí mismos; Aunado a esto, la memoria no es una fuente muy confiable, ya que es selectiva se encuentra en constante cambio, y se trata de una reconstrucción de eventos pasados, más que una reproducción de los mismos (de Chadarevian, 1997). Por ello, es necesario contar con fuentes históricas externas al CICY.

La micropropagación de *Agave fourcroydes* y el cultivo de tejidos vegetales en México

En 1982, se esperaba que la fabricación de celulosa y papel a base de henequén, y derivados farmacéuticos del mismo, ayudarían a diversificar la industria, asimismo el Programa de Investigaciones para el Aprovechamiento Integral del Henequén, realizado por un grupo interdisciplinario convocado por el CONACyT, tenía como objetivos el desarrollo de tecnología que permitiera un incremento rápido de la producción, basado fundamentalmente en la modificación de las prácticas convencionales de cultivo (Márquez, 1982). Se consideraba que el mejoramiento genético del agave requería de estudios prolongados, pero probablemente se pensaba que se tendría éxito por el mejoramiento genético que ya se había logrado con el maíz, trigo, sorgo y legumbres, que se llevaba a cabo por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMyT) y el colegio de posgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo, la resistencia a enfermedades y plagas, un ciclo vegetativo precoz, tolerancia a adversidades climáticas y un aumento en la productividad.

Para ese entonces, ya se había iniciado el proyecto de micropropagación del agave en el CICY, pues el cultivo de tejidos vegetales ya había arribado a México, en 1970 a la Universidad Autónoma de Chapingo.⁸

“Durante los últimos 15 años, las técnicas para cultivar *in vitro* células, tejidos y órganos de plantas han tenido un enorme desarrollo [...]. Éstas técnicas han producido un gran avance en el conocimiento básico de la biología de las plantas y han abierto también muchas nuevas posibilidades para la solución de problemas agrícolas y hortícolas así como para su explotación comercial. Esta metodología se ha convertido ya en una tecnología biológica de gran potencial económico con un auge enorme en todo el mundo”

[Robert y Loyola-Vargas, p. 9, 1985a].

Esta declaración fue resultado del programa “El desarrollo de la Biotecnología en México: evaluación de oportunidades” del CONACyT. Con el fin de identificar el estado del arte del cultivo de tejidos vegetales en México, en 1984 el Consejo se reunió con el CICY y la Asociación Mexicana de Cultivo de Tejidos Vegetales (AMCTV).⁹

A lo largo del libro, diferentes expertos se refieren a este desarrollo en la herramienta biotecnológica, aportando información acerca de la aplicación del cultivo de tejidos vegetales en la producción de metabolitos secundarios, en investigación básica, micropropagación, conservación de germoplasma, y el potencial de desarrollo socioeconómico para nuestro país con el uso de estas técnicas. Por ejemplo, que México posee una gran riqueza vegetal al igual que otros países del “Tercer Mundo” (Tovar Martínez, 1985; Eastmond, 1985) y que se debía aprovechar pues en ella se encuentra la variabilidad genética necesaria para programas de fitomejoramiento, sobretudo porque la infraestructura necesaria era relativamente accesible, y nuestro país ya se encontraba en desventaja con respecto a países industrializados cuyos recursos provienen de países menos

⁸ La introducción de las técnicas fueron el resultado de la firma de un Convenio de Colaboración Científica entre nuestro país y Japón. Posteriormente se integró a la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, y posteriormente a otros sitios de investigación como el CICY (Robert y Loyola-Vargas, 1985b).

⁹ En 1976 estableció la rama de la Asociación Internacional de Cultivo de Tejidos Vegetales (IAPTC por sus siglas en inglés) en nuestro país, propiciado por la visita del Dr. Yasuyuki Yamada, investigador de la Universidad de Kyoto (Robert & Loyola-Vargas, 1985b). La AMCTV fue instaurada el 18 de junio de 1980. Cabe mencionar que la IAPTC se convirtió en la “International Association of Plant Tissue Culture & Biotechnology” a partir de 1998.

desarrollados (Eastmond, 1985). Es decir que se apelaba a la independencia industrial y económica de México con respecto a países como Estados Unidos.

Este libro también resulta importante porque es una de las pocas fuentes primarias de información acerca del cultivo de tejidos vegetales en la República Mexicana. De manera similar a otros libros conmemorativos mencionados en este trabajo, se trata de una compilación de la historia, teoría y perspectivas del cultivo de tejidos en México.¹⁰ Quizá lo más destacable es que este volumen busca difundir los avances de ese campo para atraer más investigadores, así como convencer a la iniciativa privada y la industria de la competencia en México para entrar al mercado internacional.

La publicación del protocolo de propagación de *Agave fourcroydes* ocurrió un par de años después (Robert *et al.*, 1987). Según el recuento del Dr. Manuel Robert, su proyecto de micropropagación se originó cuando el Dr. Luis del Castillo le propuso que el CICY apoyara el desarrollo de métodos de cultivo *in vitro* del henequén. El investigador ya había comenzado el cultivo de tejidos vegetales de *Agave fourcroydes* en el Departamento de Bioquímica, de la Facultad de Química de la UNAM, a partir de plantas que le habían obsequiado en el Centro de Investigaciones Agrícolas de la Península de Yucatán (Robert, 2010). Manuel Robert había acudido a Yucatán para dar su opinión al respecto de la creación del Centro en Mérida, por petición del Dr. Ondarza, quien fuera su tutor durante la licenciatura (Ondarza Vidaurreta, 2010). Robert se llevó consigo los agaves con la idea de que, por su largo ciclo de vida y difícil manejo, el cultivo de tejidos vegetales podría aplicarse en el henequén, pues fue por las promesas que el cultivo de tejidos vegetales conllevaba a la agricultura, Robert adoptó esta línea de investigación durante su posdoctorado.¹¹

Sin embargo, durante su estancia en la Facultad de Química, el proyecto con agaves se veía a largo plazo. Con el CICY se llegó a un acuerdo de comenzar el desarrollo del protocolo para el henequén en la Facultad de Química, en espera de poder trasladar al grupo de trabajo a Mérida (Robert, 2010).

¹⁰ Según la investigación de la AMCTV, hasta ese momento existían 48 investigadores que realizaban 60 proyectos en 15 diferentes instituciones (Quintero, 1985). Entre éstas se encontraban el (CIMMyT), el Centro de Investigación de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza (que después se transformaría en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza) de la UNAM, la Facultad de Química de la UNAM, el Instituto de Biología de UNAM, y el CICY.

¹¹ En entrevista con Marytere Narváez para la Agencia Informativa CONACyT, 2017.

Era necesario mejorar genéticamente al henequén, para que pudiera competir en el mercado internacional. Uno de los retos a los que se enfrentaban era el híbrido de agave H11648. Este híbrido de *Agave angustifolia* y *Agave amaniensis* fue desarrollado por George Lock y colaboradores, en Tanzania. Su ciclo de vida de 8 años, una alta cantidad de fibras por hoja; basto número de hojas y la ausencia de espinas en el margen de aquéllas, convertían a este híbrido en un importante competidor para *Agave fourcroydes* como fuente de fibras duras (Robert *et al.*, 1987).

Cabe aquí resaltar la importancia del cultivo *in vitro* en la resolución de problemas de índole agrícola, pues aunado al largo tiempo invertido por Lock para obtener el mejoramiento genético, el Dr. Robert reconoce:

“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 que fuera por métodos biotecnológicos que permitirían acortar grandemente los tiempos de generación de nuevas líneas o variedades”.

[Robert, p. 42, 2010].

Para mejorar los cultivos de henequén, el Dr. Robert consideró algunas técnicas, entre ellas a la fusión de protoplastos para generar híbridos somáticos, pues la cruce de individuos no era viable debido a que, además del largo ciclo de vida del henequén, muy pocas semillas son viables.¹²

Se esperaba que con la fusión de protoplastos podrían obtenerse híbridos de una manera más rápida que de la manera convencional, es decir la que utilizó Locke. Reinert y Binding en 1986 afirmaban que los protoplastos podían manejarse de manera similar a microbios y que eran ideales para tratamientos mutagénicos. Sin embargo, recalcan que la regeneración de híbridos somáticos en plantas completas era el reto más grande, y que hasta ese entonces los protocolos eran aún muy empíricos. Asimismo Teresa Bengochea y John Dodds mencionaban, en ese mismo año, que aunque en los veinte años en que se habían

¹² Por ejemplo, la mutagénesis y transformación genética. La idea de utilizar la fusión de protoplastos quizá se debía principalmente a que el Dr. Robert fue alumno de Edward Cocking en Inglaterra, quien como vimos en el capítulo anterior, desarrolló la técnica enzimática que facilitaba la obtención de protoplastos.

llevado a cabo estos experimentos aún no se había obtenido mejorar realmente los cultivos, no significaba que fuera un objetivo imposible.

Tomemos por ejemplo los experimentos con cítricos. Ohgawara y colaboradores en 1985 obtuvieron plantas híbridas de *Citrus sinensis* y *Poncirus trifoliata* que se reconocían fácilmente por presentar características de ambas especies: trifoliadas como *P. trifoliata* y con una altura, grosor y textura de *C. sinensis*. Sin embargo, tres años después al intentar obtener híbridos de *C. sinensis* y *C. unshiu*, los resultados de Kobayashi y colaboradores (1988) no fueron tan alentadores. Sólo se obtuvieron 4 plantas regeneradas, de las cuáles únicamente una era híbrida.

Aún sin saber que la fusión de protoplastos podría no dar buenos resultados, según Robert “un análisis de la situación prevaleciente en las plantaciones reveló la posibilidad más directa, rápida y económica de seleccionar y clonar individuos con características notables” [Robert, p. 42-43, 2010]. Es decir, propagarlos por organogénesis.

Como se mencionó antes, la característica de la reproducción asexual en plantas es que la descendencia no presenta variabilidad genética; y siendo que este agave se reproducía naturalmente por formación de brotes, resultaba extraño que la población no fuera genéticamente homogénea, pero se confirmó con estudios genéticos que se genera y acumula variación en los meristemas, que se hereda a la descendencia (Robert, 2010).

La investigación se llevó a cabo utilizando rizomas y tallos de plantas de dos años de edad. Una vez generado el protocolo de propagación *in vitro*, se observó que las plantas clonales crecían rápidamente y superaban en talla y cantidad de hojas a las plantas silvestres, a pesar de que en un inicio las plantas micropropagadas tenían una menor talla que los brotes silvestres, los resultados de la investigación permitían cosechar hojas dos años antes y se presentaba un incremento del doble, aproximadamente, en el rendimiento de la biomasa (Robert, 2010). Además se observó que en los callos de rizoma, la cantidad de nitrógeno en el medio de cultivo influía directamente en la respuesta organogénica inducida por las auxinas y las citocininas. Aunado a esto, se calculó que podían obtenerse por lo menos 3,750 plantas en 9 meses, a partir de una sola planta madre a partir de los explantes de tallo; y que entre las plantas regeneradas a partir de explantes de rizoma a parecían aquellas más vigorosas, por lo que este tejido se presumía como una fuente de variación genética somaclonal (Robert *et al.*, 1987).

Cabe mencionar que el protocolo de Robert y colaboradores fue uno de los primeros que se publicaron para el género *Agave*. Groenewald y colaboradores fueron los primeros en propagar una especie desconocida de agave en 1977. Y, en 1981, Madrigal y colaboradores propagaron por primera vez *Agave fourcroydes*, sin embargo no se especificaban las concentraciones de reguladores de crecimiento vegetal.¹³ Además de la micropropagación se realizaron estudios sobre la estabilidad genética y fisiología de las plantas obtenidas por cultivo *in vitro*, así como la biosíntesis de alcaloides por células y órganos cultivados *in vitro*.

La publicación del protocolo ocurrió en 1987, lo cual significa que el CICY cumplió su objetivo. Es decir, el proyecto se desarrolló para satisfacer la demanda del agave y poder sembrar siete mil hectáreas por año, con 5,000 plantas/ha, pues el objetivo era proporcionar material a una fábrica de celulosa que requeriría 35 millones de plantas (del Castillo Mora, 2010), sin embargo el rescate de la industria henequenera no fue posible, y es claro que el CICY se deslinda de dicho fracaso.

“En aquella época se consideró que el principal problema estaba ligado a la tecnología. Sin embargo, en realidad la problemática tenía muchos más elementos de carácter social y político, frente a lo cual un centro de investigación científica poco podía hacer. [...] el proyecto de la fábrica de celulosa nunca se llevó a cabo, a pesar de que había sido aprobado al más alto nivel. [...] El proyecto encaminado a la obtención de esteroides a partir del jugo de las pencas de henequén [...] lo que pudo haber sido la mayor contribución del CICY a la recuperación de la industria henequenera [...] quedó cancelado [por la desaparición de Cordemex].”

[del Castillo Mora, p. 26-27, 2010].

Quizá el Centro aprovechó su libro conmemorativo para “aclarar” que cumplió con su parte para rescatar a la industria pero que sus buenas intenciones no fueron suficientes. Aun así, podemos ver que aunque sospechaban que este sería el caso, los científicos no se rehusaron a la conformación de un nuevo sitio de investigación, y aunque hayan comenzado con el agave, no se restringieron a desarrollar proyectos con esta especie. Además, tomando en cuenta que el INIC había promovido la formación de recursos

¹³ Se puede encontrar de manera más extensa la revisión de la literatura científica sobre la propagación de este género en Robert *et al.*, 1992.

humanos en el extranjero, ciertamente la creación de los centros de investigación del CONACyT brindaba disponibilidad de plazas.

Conclusión

La creación del Centro de Investigación Científica de Yucatán fue el resultado de diferentes circunstancias socio-políticas y la participación de diversos actores. A pesar de que se contempló como parte de la solución a la problemática agrícola del henequén en Yucatán, el Centro también fue una manera en la que el entonces presidente afianzaba su régimen, como ha ocurrido previamente en nuestro país, cuando el Estado parece preocuparse por el desarrollo científico y tecnológico, pero dicho interés a veces sólo se refleja en el discurso político. Asimismo, los científicos vieron en el Centro una oportunidad para el desarrollo de la biotecnología y fisiología vegetal, sin dejar de lado el propósito del mismo, por lo que fue posible que se crearan estrategias para el rescate del mercado del agave, como la micropropagación del henequén, que sin embargo no pudieron aplicarse por los problemas sociales, políticos y económicos, como el cierre de Cordemex. Aun así, el CICY generó conocimiento y recursos humanos, y se consolidó como uno de los Centros más importantes del CONACyT, y como uno de los referentes a nivel internacional del cultivo de tejidos vegetales en México, con reconocimiento internacional.

Consideraciones finales

La creación del Centro de Investigación Científica de Yucatán es un ejemplo en nuestro país de la forma en que se conjuntan los intereses sociales, políticos y académicos que suelen encontrarse alrededor del desarrollo científico. El estado peninsular puede ser considerado una “isla del conocimiento”, según el modelo propuesto por la historiadora Leida Fernández Prieto, por la influencia que tuvo el cultivo del henequén en la selección y aplicación de técnicas e investigación concretas, en este caso el cultivo de tejidos, las cuales se incorporaron y contribuyeron al desarrollo de la fisiología y biotecnología vegetal en México. En este sentido, el henequén cumplió un papel similar al del azúcar en Cuba (Fernández Prieto, 2013) y el barbasco en la región del Papaloapan (Soto Laveaga, 2009).

Es decir, que este trabajo constituye otro ejemplo histórico de la relación entre agricultura y ciencia en Latinoamérica, y en nuestro país, un caso distinto al de los estudios sobre la Revolución Verde y la genética del maíz que han concentrado la mayor cantidad de investigaciones históricas (Fitzgerald, 1986; Barahona Echeverría y Gaona Robles, 2001; Cullather, 2004; Matchett, 2006; Harwood, 2009; Curry, 2017). Al mismo tiempo, el foco en el henequén y la creación del CICY reconstruye otro evento relevante en la historia de la ciencia mexicana, distinto a las investigaciones biográficas o sobre instituciones *nacionales* ya que toma en cuenta el entorno internacional como un factor que incide y es afectado a nivel de las decisiones locales. Cabe mencionar que aunado al impacto del agave en las esferas económica, social y política de Yucatán, podemos afirmar que el henequén constituyó un ingrediente crucial en el desarrollo científico del estado. En palabras de Bruno Latour (1987) podríamos especular si el henequén fue un *actante*, es decir un agente de los cambios sociales y tecnocientíficos de esta región, a la par que los productores, políticos y científicos que intervinieron en esta historia. Esta posibilidad, sin embargo, requiere de una extensa discusión que no se hizo en el presente trabajo, pero que queda como un hilo a seguir.

Por otro lado, en esta tesis sí se llevó a cabo una reflexión historiográfica sobre el papel que los científicos atribuyen a la aplicación de las técnicas de cultivo *in vitro* en la agricultura. El análisis del libro conmemorativo del centenario del cultivo de tejidos vegetales (Laimer y Rücker, 2003) hace valiosa esta investigación por la escasez de

estudios historiográficos sobre el tema. Sin embargo, como han señalado los historiadores de la ciencia, es crucial mantener una distancia crítica respecto a esas fuentes de información. Pnina Abir-Am (1985) ha señalado la necesidad imperiosa de que el historiador no legitime las reconstrucciones históricas de la ciencia realizadas por los protagonistas de dichas historias; asimismo, ella ha analizado el poder que tienen las ceremonias y celebraciones científicas como actos fundacionales, de auto-reconocimiento y formación de identidades profesionales, que delimitan márgenes disciplinarios (quién queda dentro y fuera de una disciplina, o qué problemas y respuestas son aceptables) (Abir-Am, 1982; Abir-Am, 1999). En dicho libro conmemorativo (Laimer y Rücker, 2003) resaltan algunos de los mitos creados y perpetuados por las autoridades científicas, como la imagen de Gottlieb Haberlandt de *precursor*, y la creencia de que sus propuestas inevitablemente dieron lugar a su aplicación biotecnológica como solución a problemas agrícolas. Pero no se debe perder de vista que las posibilidades para mejorar genéticamente a una especie, propagarla de manera masiva, y obtener de ella metabolitos secundarios, hicieron del cultivo de tejidos vegetales una opción atractiva para aumentar la competitividad de la industria henequenera en un contexto social y económico adverso a la economía local.

Cabe mencionar que, paradójicamente, si bien el agave impulsó la creación del Centro, eventualmente también se convirtió en un posible lastre para la perpetuidad de éste, por lo que se aprovechó el treinta aniversario del centro yucateco para narrar el éxito de su misión inicial, deslindarse del fracaso del rescate de la industria, y mostrar al público su capacidad de llevar a cabo investigaciones con especies distintas. Como puede verse en el segundo y tercer capítulo de esta tesis, es común que se utilicen las conmemoraciones científicas para legitimar una disciplina, institución o personaje como se ha observado y discutido previamente con estudios de caso en diversos países. Otro ejemplo en México es el décimo aniversario del CONACyT que, además de forjar una buena imagen ante la sociedad, podría ser significativo para legitimar un sexenio caracterizado por inestabilidad económica, contrario al desarrollo nacional previsto, así como la conmemoración del centenario del cultivo de tejidos vegetales y su estado del arte en México.

En este mismo sentido, los historiadores de la ciencia deben permanecer críticos respecto a la información que proporcionan los actores cuando se tiene la fortuna de poder entrevistarlos, y para ello es indispensable que se utilicen y crucen otros tipos de fuentes

primarias o secundarias. La historiadora Soraya de Chadarevian (1997) ha insistido sobre este punto; en este caso se tuvo la oportunidad de entrevistar al Dr. Raúl Ondarza, coordinador de comités científicos en el CONACyT y quien fue un agente crucial en la creación de institutos de investigación en las décadas de 1970 y 1980. Si bien la entrevista proporcionó datos y guías interesantes, fue indispensable corroborar y cruzar esa información con testimonios de otros personajes, como aquel del Lic. Francisco García Sancho (1980) quien también fue partícipe de la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Otro tema explorado en este trabajo, si bien tangencialmente, es el de las condiciones que hicieron posible el desarrollo tecnocientífico en México en las décadas de la posguerra y (como resultado tardío) del llamado “milagro mexicano”. Además de la importancia del agave para Yucatán, y las promesas del cultivo *in vitro*, hacia finales de la década de 1970 la ciencia y la tecnología ya habían comenzado a tomar importancia en el discurso político mexicano, aunque fuera de manera virtual. Si bien la institucionalización de la ciencia nacional en su etapa contemporánea comenzó durante el Cardenismo, su papel en el desarrollo del país resulta más evidente –pero no libre de obstáculos y conflictos- a partir de la Segunda Guerra Mundial (Mateos y Suárez-Díaz 2016). Por una parte, los académicos aprovechaban la influencia de la ciencia en el desarrollo económico de las naciones, justificando la necesidad de invertir recursos públicos en la investigación básica y aplicada; por otra, los tomadores de decisiones que se involucraban de manera somera en la política de la ciencia pronto se dieron cuenta que ésta permitía legitimar sus regímenes, como fue el caso de Luis Echeverría con la creación del CONACyT – y de Proquivemex como lo exploró Gabriela Soto Laveaga (2009)- y José López Portillo con el apoyo a la creación del Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Como trabajo de investigación centrado en la biología y las ciencias de la vida, esta tesis también dedicó un espacio importante al desarrollo del conocimiento, las técnicas y tecnologías que transformaron el estudio de la fisiología y la genética vegetales en la segunda mitad del siglo veinte. Tomando en cuenta que el cultivo de tejidos vegetales fue introducido en México en 1970, su adopción en el Centro de investigación yucateco a finales de 1979 con fines biotecnológicos fue relativamente rápida. Además de ser un sitio pionero en este tipo de investigación, también se constituyó como una autoridad en el tema,

como puede observarse en su participación en la compilación del estado del arte de las técnicas *in vitro* en el país (Robert y Loyola-Vargas, 1985a). Cabe mencionar que el propósito del libro *El cultivo de tejidos vegetales en México* era exponer su potencial e invitar a la inversión privada a participar en el aprovechamiento comercial de dichas técnicas, dados los precios accesibles y la alta disponibilidad de los recursos naturales y genéticos que caracterizan a la República Mexicana.

Pese a estos éxitos relativos, la conclusión de esta historia es compleja. No obstante el CICY haya generado un protocolo de micropropagación de *Agave fourcroydes*, no fue posible rescatar a la industria henequenera, porque el problema no era únicamente de índole científico-tecnológico, sino sobre todo político, económico, geopolítico y tecnológico ya que para el periodo de la posguerra comenzó a extenderse la fabricación y uso de sustitutos del henequén en diversas industrias. Pese a ello, es importante rescatar que las investigaciones del Centro generaron mucha información sobre el ciclo de vida, genética, fisiología, reproducción y aprovechamiento del agave. Asimismo, el CICY ha logrado constituirse como un importante centro de investigación del CONACyT y del estado peninsular pues actualmente es parte -junto con otras universidades y empresas privadas- del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán (SIIDETHEY) establecido en el 2008 con objetivos explícitos de convertir al estado en un polo de desarrollo científico nacional, para implementar la ciencia y la tecnología en el desarrollo económico. Uno de los resultados de este Sistema es el Parque Científico Tecnológico de Yucatán donde se encuentran laboratorios “estratégicos” a los que pueden acceder profesores, investigadores y estudiantes de los sitios integrantes del SIIDETHEY. Algunos de dichos laboratorios pertenecen al CICY, como el Banco de Germoplasma, la Unidad Productora de Semillas, la Unidad de Energía Renovable, el Centro de Innovación Tecnológica en Polímeros, y la Biofábrica, donde se aplican las técnicas de cultivo *in vitro* para la producción masiva de plántulas de diversas especies (entre ellas el henequén).

Sobre estos textos es necesario recalcar que se deben ahondar los análisis historiográficos de las técnicas de propagación *in vitro* tanto a nivel internacional como a nivel nacional, pues además del discurso de su capacidad para satisfacer las demandas agrícolas, comienzan a surgir nuevos temas como las posibles aportaciones a la conservación de la biodiversidad a través de los bancos de germoplasma o la propagación

de especies en peligro de extinción. Además, debido a que su introducción en México es considerablemente reciente la literatura sobre estas técnicas está conformada principalmente por fuentes primarias y su análisis dentro del contexto histórico nacional brindaría nuevas perspectivas sobre las repercusiones sociales en la ciencia y viceversa, como la que se exploró en el presente trabajo, aumentando así los estudios sobre la historia de la ciencia mexicana.

En resumen, podemos concluir que algunos de los factores que propiciaron la creación del CICY fueron el declive de una industria que fuera alguna vez fuente importante de ingresos y directamente relacionada a la historia del estado de Yucatán; los avances de la fisiología vegetal y la aplicación del cultivo de tejidos vegetales en la propagación de especies de importancia agrícola alrededor del mundo; la participación de los Estados nacionales en el desarrollo científico y tecnológico por su conexión con el desarrollo económico y militar después de la Segunda Guerra Mundial, así como la intensificación de los intercambios internacionales. Si bien en México la relación entre ciencia y Estado se aprovechaba para legitimar discursos académicos y de los tomadores de decisiones, eso no quiere decir que no se haya impulsado la descentralización de la ciencia en ese periodo, sorteando posteriormente años de vaivenes políticos y económicos en la nación. Pese a ello, probablemente podemos afirmar que el final –provisional- de esta historia no se encuentra exclusivamente en el nivel local, sino también más allá de las fronteras nacionales: la misión explícita del CICY sería mejorar genéticamente al henequén para aumentar la competitividad de Yucatán en el mercado internacional de las fibras duras (mismo que dominó durante el porfiriato), pero principalmente debido a la producción en el extranjero de híbridos del agave de alto rendimiento, y a la producción de fibras sintéticas, pintó un mal panorama para el futuro de la industria henequenera, que paradójicamente contribuyó a la apertura de nuevas rutas y áreas de investigación para la fisiología vegetal en México.

Referencias

Generales

Abir-Am, Pnina. 1982. How scientists view their heroes: Some remarks on the mechanism of myth construction. *Journal of the History of Biology* 15 (2): 281-315. <https://www.jstor.org/stable/4330821>

Abir-Am, Pnina. 1985. Themes, genres and orders of legitimation in the consolidation of new scientific disciplines: deconstructing the historiography of molecular biology. *History of Science* 23 (1): 73-117. DOI: 10.1177/007327538502300103

Abir-Am, Pnina. 1999. Introduction. *Osiris* 14 (1): 1-33. <https://doi.org/10.1086/649298>

Barahona Echeverría, Ana y Gaona Robles, Ana Lilia. 2001. The History of Science and the Introduction of Plant Genetics in Mexico. *History and Philosophy of the Life Sciences*. 23(1): 151-162. <https://www.jstor.org/stable/23332265>

Cházaro, Laura. 2008. Regímenes e instrumentos de medición: Las medidas de los cuerpos y del territorio nacional en el siglo XIX en México. *Nuevo Mundo Mundos Nuevos [En línea], Colloques*. DOI: 10.4000/nuevomundo.14052

Cházaro, Laura. 2009. Recorriendo el cuerpo y el territorio nacional: instrumentos, medidas y política a fines del siglo XIX en México. *Memoria y Sociedad* 13 (27): 101-119. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-51972009000200007.

Cházaro, Laura. 2011. Políticas del conocimiento: los silencios de los obstetras mexicanos sobre las razas y los sexos, fines del siglo XIX. *Nuevo Mundo Mundos Nuevos [En línea], Débats*. DOI: 10.4000/nuevomundo.61053

Cullather, Nick. 2004. Miracles of Modernization: The Green Revolution and the Apotheosis of Technology. *Diplomatic History* 28(2):227-254. <https://www.jstor.org/stable/24914837>

Curry, Helen. 2017. From working collections to the World Germplasm Project: agricultural modernization and genetic conservation at the Rockefeller Foundation. *History and Philosophy of the Life Sciences* 39 (5): 1-20. <https://doi.org/10.1007/s40656-017-0131-8>

de Chadarevian, Soraya. 1997. "Using interviews to write the History of Science". En *The Historiography of Contemporary Science and Technology*. Studies in the History of Science, Technology and Medicine: 4. Editado por Thomas Söderqvist. 51-70. Australia: Harwood Academic

Fernández Prieto, Leida. 2013. Islands of knowledge: science and agriculture in the history of Latin America and the Caribbean. *Isis* 104(4): 788-797.

Fitzgerald, Deborah. 1986. Exporting American Agriculture: The Rockefeller Foundation in Mexico, 1943-53. *Social studies of Science* 16 (3): 457-483. <https://www.jstor.org/stable/285027>

García Sancho, Francisco. 1980. Cómo nació hace diez años el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México: CONACyT. Disponible en: <http://132.248.66.123:8991/divulcie/2829b.pdf>

Harwood, Jonathan. 2009. Peasant Friendly Plant Breeding and the Early Years of the Green Revolution in Mexico. *Agricultural History Society* 83 (3): 384-410. DOI: 10.3098/ah.2009.83.3.384

Laimer Margit y Rücker, Waltraud (eds). 2003. *Plant Tissue Culture: 100 years since Gottlieb Haberlandt*. Vienna: Springer. DOI: 10.1007/978-3-7091-6040-4

Latour, Bruno. 1987. *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Primera edición. USA: Harvard University Press.

Lemaire, Charles. 1864. *Agave fourcroydes* Lem. *L'illustration horticole* 11: 65.

López-Beltrán, Carlos y García Deister, Vivette. 2013. Scientific approaches to the Mexican mestizo. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* 20 (2): 391-410. DOI:10.1590/S0104-597020130002000002

Marks, Lara V. 2001. *Sexual Chemistry: A History of the Contraceptive Pill*. Yale University Press.

Matchett, Karin. 2006. At Odds over Inbreeding: An Abandoned Attempt at Mexico/United States Collaboration to “Improve” Mexican Corn, 1940-1950. *Journal of the History of Biology* 39 (2): 345-372. <https://doi.org/10.1007/s10739-006-0007-3>

Mateos, Gisela y Suárez-Díaz, Edna. 2015. Clouds, airplanes, trucks and people: carrying radioisotopes to and across Mexico. *Dynamis* 35 (2): 279-305. <http://dx.doi.org/10.4321/S0211-95362015000200002>

Mateos, Gisela y Suárez-Díaz, Edna. 2016. ‘We are not a rich country to waste our resources on expensive toys’: Mexico’s version of Atoms for Peace. *History and Technology* 31 (3): 243-258. <http://dx.doi.org/10.1080/07341512.2015.1128166>

Robert, Manuel y Loyola-Vargas, Víctor (comps). 1985. *El cultivo de tejidos vegetales en México*. Primera edición. México: CICY, CONACyT.

Soto Laveaga, Gabriela. 2009. *Jungle Laboratories: Mexican Peasants, National Projects, and the Making of the Pill*. Primera edición. Durham: Duke University Press.

Capítulo 1

Álvarez de Zayas, Alberto. 1989. Distribución geográfica y posible origen de las Agavaceae. *Revista del Jardín Botánico Nacional, Universidad de la Habana* 10 (1): 25-35. <https://www.jstor.org/stable/42597464>

APG (Angiosperm Phylogeny Group) II. 2003. An update of the Angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-436. DOI: 10.1046/j.1095-8339.2003.t01-1-00158.x

Antochiw Kolpa, Michel. 2006. “El nuevo mundo del henequén”. En *Henequén, leyenda, historia y cultura*. 118-133. México: Instituto de Cultura de Yucatán. Gobierno de Yucatán.

- Arzate García, Karla M. 2009. “Distribución de cinco especies de *Agave* y su relación con algunos parámetros ambientales en Metztitlán, Hidalgo”. Tesis de Maestría. México: Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Baqueiro López, Oswaldo. 2006. “Una planta de leyenda”. En *Henequén, leyenda, historia y cultura*. 46-51. México: Instituto de Cultura de Yucatán. Gobierno de Yucatán.
- Basulto Tamay, José A. 1986. “Industrialización y fuerza de trabajo en Yucatán.” Tesis de Licenciatura. México: Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Benítez, Fernando. 2015. *Ki: el drama de un pueblo y de una planta*. Primera edición. México: Fondo de Cultura Económica.
- Benjamin, Thomas. 1977. International harvester and the henequen marketing system in Yucatán, 1898–1915: A new perspective *Inter-American Economic Affairs* 21 (3): 3–19.
- Billmeyer, Fred. 1975. *Ciencia de los polímeros*. Primera edición. España: Reverté.
- Bogler, David J. y Simpson, Beryl B. 1995. A chloroplast DNA study of the Agavaceae. *Systematic Botany* 20:191-205. <https://www.jstor.org/stable/2419449>
- Bogler, David J. y Simpson, Beryl B. 1996. Phylogeny of Agavaceae based on ITS rDNA sequence variation. *American Journal of Botany* 83:1225-1235. <https://www.jstor.org/stable/2446206>
- Brannon, Jeffrey y Baklanoff, Erick. 1987. *Agrarian Reform and Public Enterprise in Mexico: the Political Economy of Yucatán's henequen industry*. Primera edición. Tuscallosa: University of Alabama Press.
- Canto Sáenz, Rodolfo. 2001. “Yucatán. Economía e Industria”. En *Del Henequén a las Maquiladoras: La política Industrial en Yucatán, 1984-2001*. 55-110. México: Instituto Nacional de Administración Pública. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Carmichael, Alasdair. 2015. Fibras manufacturadas continúan su crecimiento. *Textiles Panamericanos* 75 (1): 32-34.
- Castorena-Sánchez, I., Escobedo, R. M., y Quiroz, A. 1991. New cytotaxonomical determinants recognized in six taxa of *Agave* in the sections Rigidiae and Sisalanae. *Canadian Journal of Botany* 69 (6): 1257- 1264. <https://doi.org/10.1139/b91-163>
- Colunga-García Marín, Patricia. 2006. “Origen y evolución del henequén”. En *Henequén, leyenda, historia y cultura*. 32-45. México: Instituto de Cultura de Yucatán. Gobierno de Yucatán.
- Colunga-García Marín, Patricia, Estrada-Loera, Enrique y May-Pat, Filogonio. 1996. Patterns of morphological variation, diversity, and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatán, Mexico. *American Journal of Botany* 83(8): 1069-1082. DOI: 10.2307/2445997
- Colunga-García Marín, Patricia y May-Pat, Filogonio. 1993. *Agave studies in Yucatán, México. I. Past and present germplasm diversity and uses*. *Economic Botany* 47(3): 312-327. <https://doi.org/10.1007/BF02862301>

- Colunga-García Marín, Patricia y May-Pat, Filogonio. 1997. Morphological variation of henequen (*Agave fourcroydes*, Agavaceae) germplasm and its wild ancestor (*A. angustifolia*) under uniform growth conditions: diversity and domestication. *American Journal of Botany* 84 (11): 1449-1465.
- Dahlgren, Rolf M. T., Clifford H. Trevor. y Yeo, Peter F. 1985. *The families of the Monocotyledons: Structure, evolution and taxonomy*. Primera edición. Berlín: Springer-Verlag.
- de Landa, Diego. 1566. *Relación de las cosas de Yucatán*. Editorial Porrúa, S. A. México (1978).
- Delgado-Lemus, América, Casas, Alejandro. y Téllez, Oswaldo. 2014. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10:63.
- Engelmann, G. 1875. Notes on *Agave*. *Transactions of the Sr. Louis Academy of Science* 3: 291-322.
- Fernández Prieto, Leida. 2013. Islands of knowledge: science and agriculture in the history of Latin America and the Caribbean. *Isis* 104(4): 788-797.
- García-Mendoza, Abisaí. 2002. Distribution of *Agave* (Agavaceae) in Mexico. *Cactus and Succulent Journal* 74 (4):177–186.
- García-Mendoza, Abisaí. 2007. Los agaves de México. *Ciencias* 87: 14-23. <http://www.revistaciencias.unam.mx/es/48-revistas/revista-ciencias-87/285-los-agaves-de-mexico.html>
- García-Mendoza, Abisaí. 2011. *Agavaceae. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. México: UNAM, Instituto de Biología.
- García-Mendoza, Abisaí y Chávez-Rendón, César. 2013. *Agave kavandivi* (Agavaceae: grupo *Striatae*), una especie nueva de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 1070-1076. DOI: 10.7550/rmb.35241
- Gentry, Howard Scott. 1982. *Agaves of Continental North America*. Tercera edición. EUA: The University of Arizona Press.
- Graham Knox, J. 1977. Henequen Haciendas, Maya Peones, and the Mexican Revolution Promises of 1910: Reform and Reaction in Yucatán, 1910-1940. *Caribbean Studies* 17(1): 55-82. <http://www.jstor.org/stable/25612798>
- Herrerías Diego, Yvonne. y Benítez-Malvido, Julieta. 2005. “Consecuencias de la fragmentación de los ecosistemas”. En *Temas sobre restauración ecológica*. Editado por Óscar Sánchez, Eduardo Peters, Roberto Márquez-Huitzil, Ernesto Vega, Gloria Portales, Manuel Valdez y Danae Azuara, 113-126. México: INE-SEMARNAT.
- Irigoyen, Renán. 1947. *¿Fue el auge del henequen producto de la Guerra de Castas de Yucatán?* Primera edición. Mérida: Yucatán.
- Irigoyen, Renán. 1950. *Los Mayas y el henequen*. Primera edición. Mérida: Ediciones Zamná.

Joseph, Gilbert M. 1992. *Revolución desde afuera: Yucatán, México y los Estados Unidos, 1880-1924*. Primera edición. México: Fondo de Cultura Económica.

Joseph, Gilbert M. y Wells, Allen. 1982. Corporate control of a Monocrop Economy. *Latin American Research Review* 17 (1): 69-99.

Keiding, H. 1991. *Gene conservation and tree improvement*. Denmark: Danida Forest Seed Centre. Humlebaek,. Lecture Notes D-9.

Lemaire, Charles. 1864. *Agave fourcroydes* Lem. *L'illustration horticole* 11: 65.

Macossay, Mauricio y Castillo, Ma. Eugenia. 1986. *Telchac Pueblo: una comunidad henequenera*. Primera edición. México: Universidad Autónoma Chapingo.

Menéndez González, Antonio. 2006. "El dios verde". En *Henequén, leyenda, historia y cultura*. 52-57. México: Instituto de Cultura de Yucatán. Gobierno de Yucatán.

Millet Cámara, Luis. 2006. "En busca de una máquina raspadora". En *Henequén, leyenda, historia y cultura*. 82-97. México: Instituto de Cultura de Yucatán. Gobierno de Yucatán.

Orellana, Roger., Villers, Lourdes., Franco, Veronica y Ojeda, Lina. 1985. "Algunos aspectos ecológicos de los agaves de la península de Yucatán". En *Biología y aprovechamiento integral del henequén y otros agaves*. Editado por Carlos Cruz, Luis del Castillo, Manuel Robert y Raúl N. Ondarza. 39-54. México: Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste.

Otero Rejón, Camilo. 2006. "Presencia inadvertida, ki". En *Henequén, leyenda, historia y cultura*. 24-31. México: Instituto de Cultura de Yucatán. Gobierno de Yucatán.

Peniche Rivero, Piedad. 1985. "Evolución histórica de la producción de henequén en Yucatán". En *Biología y aprovechamiento integral del henequén y otros agaves*. Editado por Carlos Cruz, Luis del Castillo, Manuel Robert y Raúl N. Ondarza. 1-26. México: Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste.

Piven, Nikolai M., Barredo-Pool, Felipe A., Borges-Argáez, Ileana C., Herrera-Alamillo, Miguel A., Mayo-Mosqueda, Alberto, Herrera-Herrera, José L. y Robert, Manuel L. 2001. Reproductive Biology of Henequén (*Agave fourcroydes*) and Its Wild Ancestor *Agave angustifolia* (Agavaceae). I. Gametophyte Development. *American Journal of Botany* 88(11): 1966-1976. <http://www.jstor.org/stable/3558424>

Quezada, Sergio. 2011. *Yucatán: Breve historia*. Segunda edición. México: Fondo de Cultura Económica.

Ramírez Carrillo, Luis A. 1994. *Secretos de familia. Libaneses y élites empresariales en Yucatán*. Primera edición. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes

Ruz, Alberto. 1981. *El Pueblo Maya*. Primera edición. México: Savat Editores.

Sierra Villareal, José Luis y Paoli Bolio, José Antonio. 1986. Cárdenas y el reparto de los henequenales. *Secuencia* 6: 33-60. <http://dx.doi.org/10.18234/secuencia.v0i06.152>

Soberón Martínez, Oscar. 1959. *La industria henequenera en Yucatán. Los costos de desfibración*, Primera edición. México: Centro de Investigaciones Agrarias.

Soto Laveaga, Gabriela. 2009. *Jungle Laboratories: Mexican Peasants, National Projects, and the Making of the Pill*. Primera edición. Durham: Duke University Press.

Topik, Steven. 2005. Cornering the Market: State Intervention in Comparative Perspective Brazilian Coffee and Mexican Henequen. *History Compass* 3 (121): 1–30. <https://doi.org/10.1111/j.1478-0542.2005.00121.x>

Turner, John. 1911. *México Bárbaro*. Primera edición. México: COSTA-AMIC Editores.

Vela Sosa, Raúl. 2011. “La Revolución en Yucatán”. En *La Revolución en los Estados de la República Mexicana*. Coordinado por Patricia Galeana, 573-580. México: Siglo XXI.

Villanueva-Mukul, Éric. 2009. *El Fin del Oro Verde: Conflicto Social y Campesino 1960-2008*. Primera edición. México: CEDRSSA. Cámara de Diputados, LX Legislatura.

Wells, Allen y Joseph, Gilbert M. 1996. *Summer of Discontent, Seasons of Upheaval: Elite Politics and Rural Insurgence in Yucatán, 1876-1915*. Primera edición. Stanford: Stanford University Press.

Zuleta, María C. 2000. Las finanzas públicas del henequén entre el porfiriato y la revolución, 1876-1917. Notas preliminares. *Historicas, Boletín del instituto de investigaciones Historicas* 57: 3-21.

Zuleta, María C. 2004. Hacienda Pública y exportación henequenera en Yucatán, 1880-1910. *Historia Mexicana* 54 (1): 179-247. <https://www.jstor.org/stable/25139555>

Capítulo 2

Abir-Am, Pnina. 1982. How scientists view their heroes: Some remarks on the mechanism of myth construction. *Journal of the History of Biology* 15 (2): 281-315. <https://www.jstor.org/stable/4330821>

Abir-Am, Pnina. 1985. Themes, genres and orders of legitimation in the consolidation of new scientific disciplines: deconstructing the historiography of molecular biology. *History of Science* 23 (1): 73-117. DOI: 10.1177/007327538502300103

Abir-Am, Pnina. 1999. Introduction. *Osiris* 14 (1): 1-33. <https://doi.org/10.1086/649298>

Alfermann, A.W. y Petersen, Maike. 1995. Natural product formation by plant cell biotechnology. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 43: 199-205. <https://doi.org/10.1007/BF00052176>

Alfermann, A. W, Petersen, Maike. y Fuss, Elizabeth. 2003. “Production of natural products by plant cell biotechnology: results, problems and perspectives”. En *Plant Tissue Culture: 100 years since Gottlieb Haberlandt*. Editado por Margit Laimer y Waltraud Rucker, 153-166. Viena: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6040-4_9

Barthélemy-Madaule, Madeleine. 1979. “Lamarck o el mito del precursor”. En *Filosofía e historia de la biología*. Compilado por Ana Barahona, Edna Suárez y Sergio Martínez, 65-106. México: UNAM, Facultad de Ciencias. 2001.

Bengochea, Teresa y Dodds, John. 1986. *Plant Protoplasts: A biotechnological tool for plant improvement*. Primera edición. EUA: Chapman and Hall.

Bhojwani Sant Saran y Dantu, Prem Kumar. 2013. “Historical Sketch”. En *Plant Tissue Culture: An Introductory Text*. 1-10. India: Springer.

Blakeslee, A. F., Belling, John, Farnham, M. E., y Bergner, A. Dorothy. 1922. A haploid mutant in the jimson weed, “*Datura stramonium*”. *Science* 55(1433): 646 – 647. DOI: 10.1126/science.55.1433.646

Boxus, P., Quorin, Y Line, J.M. 1977. “Regeneration of Plants, Vegetative Propagation and Cloning: Large scale propagation of strawberry plants from tissue culture”. En *Applied and Fundamental Aspects of Plant Cell, Tissue, and Organ Culture*. Editado por: J, Reinert y Y.P.S. Bajaj, 130- 143. Berlín Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-02279-5_1

Brücke E. 1862 Die Elementarorganismen. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Math. Nat. Cl.* 44 (2): 381-406.

Carlson, Peter S., Smith, Harold H. y Dearing, Rosemarie D. 1972. Parasexual interspecific plant hybridization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 69: 2292–2294. <https://www.jstor.org/stable/61525>

Canguilhem, George. 1977. *Idéologie et Rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*. Primera edición. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin.

Cocking, E. C .1960. A method for the isolation of plant protoplasts and vacuoles. *Nature* 187: 962–963. <https://doi.org/10.1038/187962a0>

Cocking, E.C. 1972. Plant Cell Protoplasts - isolation and development. *Annual Review of Plant Physiology* 23: 29-50. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.23.060172.000333>

Dröscher, Ariane. 2014. Images of cell trees, cell lines, and cell fates: the legacy of Ernst Haeckel and August Weismann in stem cell research. *History and Philosophy of the Life Sciences* 36 (2): 157-186. <https://doi.org/10.1007/s40656-014-0028-8>

Enders, Tara A. y Strader, Lucia C. 2015. Auxin Activity: Past, present, and Future. *American Journal of Botany* 102 (2): 180-196. DOI: 10.3732/ajb.1400285.

Fabbri, Andre, Sutter, Ellen y Dunston, Sheryl K. 1986. Anatomical changes in persistent leaves of tissue cultured strawberry plants after removal from culture. *Scientia Horticulturae* 28 (4): 331-337. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(86\)90107-X](https://doi.org/10.1016/0304-4238(86)90107-X)

Fujita Y., Tabata M., Nishi A., Yamada Y. 1982. “New medium and production of secondary compounds with the two-staged culture method”. En *Plant tissue culture*. Editado por A. Fujiwara. Tokyo

Gautheret, Roger J. 1939. Sur la possibilité de réaliser la culture indéfinie des tissus de tubercules de carotte. *Comptes Rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 208: 118–120.

Gautheret Roger J. 1982. “Plant tissue culture: the history” Reimpreso de the Proceedings of the 5th Intl. Congo Plant Tissue y Cell Culture. En *Plant Tissue Culture: 100 years since Gottlieb*

Haberlandt. Editado por Margit Laimer y Waltraud Rucker, 105-114 Vienna: Springer. 2003. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6040-4_6

George, Edwin F. y Debergh, Pierre. 2008. "Micropropagation: Uses and Methods". En *Plant propagation by tissue culture. Vol. 1: The background*. 29-64. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3_2

Guha, Sipra y Maheshwari, S.C. 1964. *In Vitro* Production of Embryos from Anthers of *Datura*. *Nature* 204: 497. <https://doi.org/10.1038/204497a0>

Haberlandt, Gottlieb. 1902. Experiments on the culture of isolated plant cells. Traducción del artículo original en alemán. *The Botanical Review* 35(1): 68-88. <https://doi.org/10.1007/BF02859889>

Haberlandt, Gottlieb. 1914. *Physiological Plant Anatomy*. Cuarta edición, traducida del alemán por Montagu Drummond. Londres: Macmillan.

Hannig, E. 1904. Zur Physiologie pflanzlicher Embryonen. I. Ueber die Cultur von Cruciferen-Embryonen ausserhalb des Embryosacks. *Bot. Zeit.* 62: 45-80.

Härtel, O. 2003. "Gottlieb Haberlandt (1854-1945): a portrait." En *Plant Tissue Culture: 100 years since Gottlieb Haberlandt*. Editado por Margit Laimer y Waltraud Rucker, 55-66. Vienna: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6040-4_3.

Hartmann, Thomas. 1958. Principles of plant secondary metabolism. *Plant Systematics and Evolution* 150:15-34. <https://doi.org/10.1007/BF00985565>

Hazarika, B.N. 2003. Acclimatization of tissue-cultured plants. *Current Science* 85(12): 1704-1712. <https://www.jstor.org/stable/24109975>

Höxtermann, Ekkehard. 2003. "Cellular 'elementary organisms' *in vitro*: The early vision of Gottlieb Haberlandt and its realization" En *Plant Tissue Culture: 100 years since Gottlieb Haberlandt*. Editado por Margit Laimer y Waltraud Rucker, 67-91. Vienna: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6040-4_4

Irigoyen, José N. y Cruz Vela Mario A. 2005. *Guía técnica de semilleros y viveros frutales*. Primera edición. El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Isah, Tasiu. 2015. Adjustments to *In Vitro* Culture Conditions and Associated Anomalies in Plants. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 57 (2): 9-28. DOI: 10.1515/abcsb-2015-0026

Kao, K.M., Keller, W.A., y Miller, R.A. 1970. Cell division in newly formed cells from protoplasts of soybean. *Experimental Cell Research*: 338-340. [https://doi.org/10.1016/0014-4827\(70\)90563-X](https://doi.org/10.1016/0014-4827(70)90563-X)

Klercker, J.A. 1892. Eine methods zur isolierung lebender Protoplasten. *Vetenskaps Adad., Stockholm* 9: 463-471.

Kobayashi, S., Ohgawara, T., Ohgawara, E., Oiyama, I. y Ishii, S. 1988. A somatic hybrid plant obtained by protoplast fusion between navel orange (*Citrus sinensis*) and satsuma mandarin (*C. unshiu*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 14 (2): 63-69. <https://doi.org/10.1007/BF00041180>

Kotte, Walter. 1922. Wurzelmeristem in Gewebekultur. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 40 (8): 269-272. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1922.tb07977.x>

Kozo Polyansky, Boris M. 1924. *Novyi printzip biologii. Ocherk teorii simbiogeneza*. Traducido al inglés como *Symbiogenesis: A New Principle of Evolution*. Editado por: Victor Fet y Lynn Margulis. Cambridge, MA: Harvard University Press. 2010.

Krikorian, A.D. y Berquam, David L. 1969. Plant cell and tissue cultures: the role of Haberlandt. *The Botanical Review* 35(1): 59-67. <https://doi.org/10.1007/BF02859888>.

Kumar, Sunil y Singh M.P. 2009. *Plant tissue culture*. Primera edición. India: APH Publishing Corporation.

Küster, Ernst. 1909. Über die Verschmelzung nackter Protoplasten. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 27 (10): 589–598. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1909.tb06760.x>

Laimer Margit y Rücker, Waltraud (eds). 2003. *Plant Tissue Culture: 100 years since Gottlieb Haberlandt*. Vienna: Springer. DOI: 10.1007/978-3-7091-6040-4

Landecker, Hannah. 2007. *Culturing life: How cells became technologies*. Primera edición. Cambridge: Harvard University Press.

Leifert C, Ritchie J.Y. y Waites W.M. 1991. Contaminants of plant-tissue and cell cultures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 7 (4): 452-469. <https://doi.org/10.1007/BF00303371>

Levine, Michael. 1947. Differentiation of carrot root tissue grown *in vitro*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 74 (4): 321-328. DOI: 10.2307/2482366

Loeb, Jacques. 1899. On the nature of the process of fertilization and the artificial production of normal larvae (plutei) from the unfertilized eggs of the sea urchin. *American Journal of Physiology* 3(3): 135-138. DOI: 10.1152/ajplegacy.1899.3.3.135

Loeb, Jacques. 1915. Rules and mechanism of inhibition and correlation in the regeneration of *Bryophyllum calycinum*. *Botanical Gazette* 60(4): 249-276. <https://doi.org/10.1086/331645>

Loyola-Vargas, Víctor M. 2010. El estudio de *Catharanthus roseus* como base para la formación de nuevos investigadores. En *CICY: treinta años de labor científica y educativa*. Editado por Luis del Castillo, Manuel L. Robert, Alfonso Larqué e Ignacio Higuera, 121-138. Mérida: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Machackova, Ivana., Zazimalova, Eva y George, Edwin F 2008. “Plant Growth Regulators I: Auxins, their analogues and inhibitors”. En *Plant propagation by tissue culture. Vol. 1: The background*. 175-204. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3_5

Maheshwari, S.C., Gill, R., Maheshwari, N. y Gharyal, P.K. 1986. “Isolation and Regeneration of Protoplasts from Higher Plants”. En *Differentiation of Protoplasts and of Transformed Plant Cells*. Vol. 12. Editado por J. Reinert y H. Binding, 3-36. Berlín Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-39836-3_2

Melchers, Georg, Sacristán, María D. y Holder, Anthony A. 1978. Somatic hybrid plants of potato and tomato regenerated from fused protoplasts. *Carlsberg Research Communications* 43:203–218. <https://doi.org/10.1007/BF02906548>

Miehe, Hugo. 1928. Die Archiplasmahypothese. *Archiv Fur Experimentelle Zellforschung*. 6: 366-369.

Miller, Carlos O., Skoog, Folke, von Saltza, Malcolm H., Strong, F. M. 1955. Kinetin, a cell division factor from deoxyribonucleic acid. *Journal of the American Chemical Society* 77 (5): 1392. DOI: 10.1021/ja01610a105

Misawa, Masanaru. 1994. “Historical background” En *Plant tissue culture: an alternative for production of useful metabolites*. 5-7. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Morel, G. 1960. Producing virus-free cymbidium. *American Orchid Society Bulletin*, 29: 495–497.

Morgan, Thomas H. 1901. *Regeneration*. London: Macmillan,

Morin, Charles. 1980. *Cultivo de cítricos*. Segunda edición. Perú: Universidad Nacional Agraria “La Molina”.

Muir, W. H., Hildebrandt, A. C. y Riker, A. J. 1958. The preparation isolation and growth in culture of single cells from higher plants. *American Journal of Botany* 45(8): 589-597. DOI: 10.2307/2439231

Murashige, Toshio. 1974. Plant propagation through tissue culture. *Annual Review of Plant Physiology* 25: 135–166. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.25.060174.001031>

Nathansohn, Alexander. 1900. Uber Parthenogenesis beim Marsilia und ihre abhiingigkeit von der Temperatur. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschasft* 18: 99-109.

Nobècourt, P. 1939. Sur la pérennité et l'augmentation de volume des cultures de tissus végétaux. *C. R. Soc. Biol.* 130: 1270-1271.

Oppenheimer, Jane M. 1966. Ross Harrison's contributions to experimental embryology. *Bulletin of the History Medicine* 40(6): 525-543. <https://www.jstor.org/stable/44449228>

Pestre, Dominique. 1999. Commemorative Practices at CERN: Between Physicists' Memories and Historians' Narratives, *Osiris* 14 (1): 203-216.

Power, J.B., Cummins, S.E. y Cocking, E.C. 1970. Fusion of isolated plant protoplasts. *Nature* (London) 255: 1016-1018. <http://dx.doi.org/10.1038/2251016a0>

Purohit, Sunil D. 2012. *Introduction to Plant Cell Tissue and Organ Culture*. Primera edición. Delhi: PHI Learning.

Raghavan, V. 1990. “Hyoscyamus spp.: Anther Culture Studies”. En *Haploids in Crop Improvement I: From Fundamentals to Quantum Computing*. Editado por Y.P.S. Bajaj, 290-305. Berlín Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61499-6_14

Reinert, J. 1968. Morphogenese in Gewebe und Zellkulturen. *Naturwissenschaften* 55 (4): 170-175. <https://doi.org/10.1007/BF00591010>

Reinert, J., Bajaj, Y.P.S., Nitsch, C., Clapham, D.H. y Jensen, C.J. 1977. "Haploids". En *Applied and Fundamental Aspects of Plant Cell, Tissue, and Organ Culture*. Editado por: J. Reinert y Y.P.S. Bajaj, 249-340. Berlín Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-02279-5_2

Robbins, William J. 1922. Cultivation of excised root tips and stem tips under sterile conditions. *Botanical Gazette* 73 (5): 376-390. <https://www.jstor.org/stable/2470362>.

Robbins, William J. 1957. The influence of Jacques Loeb on the development of plant tissue culture. *Bulletin du Jardin botanique de l'État a Bruxelles* 27 (2): 189-197. DOI: 10.2307/3666954

Robert, Manuel. L., Reyes J., y Loyola-Vargas, Víctor M. 1993. "Biosíntesis y bioconversión de metabolitos secundarios por células cultivadas *in vitro*". En *Cultivo de tejidos en la agricultura; fundamentos y aplicaciones*. Editado por William M. Roca y Luis A. Mroginski, 211-238. Bogotá: CIAT.

Sachs, Julius. 1859. Physiologische Untersuchungen über die Keimung der Schminkebohne (*Phaseolus multiflorus*). *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche*. 37:57-119.

Sinnot, Edmund W. 1950. *Cell and Psyche: The Biology of Purpose*. Primera edición. Nueva York: The University of North Carolina Press.

Skoog, Folke y Miller, Carlos O. 1957. Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissue cultured *in vitro*. Symposia of the Society for Experimental Biology XI: 118-131

Snow, R. 1935. Activation of cambial growth by pure hormones. *New Phytologist* 34 (5): 347-360. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1935.tb06853.x>

Soares, Joyce Dória Rodrigues., Pasqual, Moacir, Gomes de Araujo, Aparecida, Castro, Evastio, Pereira, Fabricio J. y Tavares-Braga, Franciane. 2012. Leaf anatomy of orchids micropropagated with different silicon concentrations. *Acta Scientiarum. Agronomy* 34 (4), 413-421. DOI: 10.4025/actasciagron.v34i4.15062

Steward, F. C., Kent, Ann E. y Mapes, Marion O. 1966. "The culture of free plant cells and its significance for embryology and morphogenesis". En *Current Topics in Developmental Biology* Vol. 1. Editado por A.A. Moscona y Alberto Monroy, 113-154. [https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(08\)60011-3](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(08)60011-3)

Takebe, I., Labib, G. y Melchers, G 1971. Regeneration of whole plants from isolated mesophyll protoplasts of tobacco. *Naturwissenschaften* 58 (6): 318-320. <https://doi.org/10.1007/BF00624737>

Thimann, Kenneth W. y Went, Frits W. 1934. On the chemical nature of the rootforming hormone. *Proc. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam* 37: 3-6.

Thorpe, Trevor A. 2013. "History of Plant Cell Culture". En *Plant Tissue Culture: Techniques and Experiments*. Editado por Roberta H. Smith, 1-22. EUA: Academic Press, Elsevier.

Van Overbeek J., Conklin, M. E. y Blakeslee, A. F. 1941. Factors in coconut milk essential for growth and development of very young *Datura* embryos. *Science* 94: 350-351. DOI: 10.1126/science.94.2441.350

Vasil, Indra K. 1976. "The progress, problems, and prospects of plant protoplast research". En *Advances in Agronomy* Vol. 28. Editado por N.C. Brady, 119-153. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60554-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60554-4)

Vasil, Vimla. y Hildebrandt, Albert. C. 1965. Differentiation of tobacco plants from single, isolated cells in micro cultures. *Science* 150: 889–892. <https://www.jstor.org/stable/1717497>

Vázquez-Flota, F.A. y Loyola-Vargas, V.M. 2003. *In vitro* plant cell culture as the basis for the development of a research institute in Mexico: Centro de Investigación Científica de Yucatán. *In vitro Cellular y Developmental Biology- Plant* 39 (2):250-258. DOI: 10.1079/IVP2002398

White, Philip. R. 1939. Potentially unlimited growth of excised plant callus in an artificial nutrient. *American Journal of Botany* 26 (2): 59–64. DOI: 10.2307/2436709

Wilson, Duncan. 2011. *Tissue culture in Science and Society: The public life of a Biological technique in Twentieth Century Britain*. Primera edición. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

Wilson, James. K. 1915. Calcium hypochlorite as a seed sterilizer. *American Journal of Botany* 2 (8): 420-427. DOI: 10.2307/2435014

Wink, Michael. 1987. "Physiology of the accumulation of secondary metabolites with special reference to alkaloids". En *Cell culture and somatic cell genetics of plants*. Editado por F. Constabel e I. K. Vasil, 17–42. Nueva York: Academic Press.

Winkler, Hans. 1901. Fiber Merogonie und Befruchtung. *Jahrb. Wiss. Bot.* 36: 753-775.

Xu, Z.H. 1990. Barley (*Hordeum vulgare* L.): Anther Culture and the Production of Haploids, En *Haploids in Crop Improvement I: From Fundamentals to Quantum Computing*. Editado por Y.P.S. Bajaj, 125-175. Berlín Heidelberg: Springer https://doi.org/10.1007/978-3-642-61499-6_6

Zanoni Mendiburu, Carlos A. 1975. "Propagación vegetativa por estacas de ocho especies forestales". Tesis de Maestría. Costa rica: Universidad de Costa Rica.

Capítulo 3

Abir-Am, Pnina. 1982. How scientists view their heroes: Some remarks on the mechanism of myth construction. *Journal of the History of Biology* 15 (2): 281-315. <https://www.jstor.org/stable/4330821>

Abir-Am, Pnina. 1999. Introduction. *Osiris* 14 (1): 1-33. <https://doi.org/10.1086/649298>

Aguilar, Héctor y Meyer, Lorenzo. 1989. *A la sombra de la Revolución Mexicana*. Primera edición. México: Cal y Arena.

Bengochea, Teresa y Dodds, John. 1986. *Plant Protoplasts: A biotechnological tool for plant improvement*. Primera edición. EUA: Chapman and Hall.

Chavero González, Adrián. 1992. “La política científico-tecnológica en México”. En *La cultura científico-tecnológica nacional: perspectivas multidisciplinarias*. 101-118. México: UNAM, Instituto de Investigaciones Sociales.

del Castillo Mora, Luis. 2010. “El inicio”. En *CICY: treinta años de labor científica y educativa*. Editado por Luis del Castillo Mora, Manuel Robert Díaz, Alfonso Larqué Saavedra e Inocencio Higuera Ciapara. 17-30. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

de Chadarevian, Soraya. 1997. “Using interviews to write the History of Science”. En *The Historiography of Contemporary Science and Technology*. Studies in the History of Science, Technology and Medicine: 4. Editado por Thomas Söderqvist. 51-70. Australia: Harwood Academic

Domínguez Martínez, Raúl. 2000. *Historia de la Física Nuclear en México (1933-1963)*. Primera edición. UNAM.

Eastmond, Amarella. 1985. “Probables efectos socioeconómicos de la industrialización del cultivo de tejidos vegetales en los países en vías de desarrollo”. En *El cultivo de tejidos vegetales en México*. Compilado por Manuel Robert y Víctor Loyola. 133-144. México: CICY, CONACyT.

Gall, Ruth. 1987. “El profesor Vallarta: científico y humanista”. En *Manuel Sandoval Vallarta: Homenaje*. 77-85. México: Instituto Nacional de Estudios Históricos.

García Sancho, Francisco. 1980. Cómo nació hace diez años el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México: CONACyT. Disponible en: <http://132.248.66.123:8991/divulcie/2829b.pdf>

Groenewald, E., Wessels, D. y Koeleman, A. 1977. Callus formation and subsequent plant regeneration from seed tissue of an *Agave* species (Agavaceae). *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 81 (4): 369 373.

Guevara González, Iris. 1992. “Educación técnica y desarrollo nacional”. En *La cultura científico-tecnológica nacional: perspectivas multidisciplinarias*. 119-136. México: UNAM, Instituto de Investigaciones Sociales.

Higuera Ciapara, Inocencio. 2010. “Presentación”. En *CICY: treinta años de labor científica y educativa*. Editado por Luis del Castillo Mora, Manuel Robert Díaz, Alfonso Larqué Saavedra e Inocencio Higuera Ciapara. IX-X. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Kobayashi, S., Ohgawara, T., Ohgawara, E., Oiyama, I. y Ishii, S. 1988. A somatic hybrid plant obtained by protoplast fusion between navel orange (*Citrus sinensis*) and satsuma mandarin (*C. unshiu*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 14: 63-69. DOI: 10.1007/BF00041180

Luna Kan, Francisco. 2010. “Una mirada retroactiva al Yucatán del henequén”. En *CICY: treinta años de labor científica y educativa*. Editado por Luis del Castillo Mora, Manuel Robert Díaz, Alfonso Larqué Saavedra e Inocencio Higuera Ciapara. 3-10. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Madrigal, L.R., Dorantes, G. y Rodríguez de la O, J.L. 1981. Propagación *in vitro* de henequén (*Agave fourcroydes* Lem). Mem Primer Simposio del *Agave*, Cordemex, Mérida.

Márquez, Ma. Teresa. 1982. *10 años del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*. Primera edición. México: CONACyT.

Mateos, Gisela y Suárez-Díaz, Edna. 2015. Clouds, airplanes, trucks and people: carrying radioisotopes to and across Mexico. *Dynamis* 35 (2): 279-305. <http://dx.doi.org/10.4321/S0211-95362015000200002>

Mateos, Gisela y Suárez-Díaz, Edna. 2016. 'We are not a rich country to waste our resources on expensive toys': Mexico's version of Atoms for Peace. *History and Technology* 31 (3): 243-258. <http://dx.doi.org/10.1080/07341512.2015.1128166>

Minor García, Adriana. 2015. Manuel Sandoval Vallarta en la encrucijada entre Estados Unidos y México. *Ludus Vitalis* 23(43):125-149.

Mirón, Rosa María y Pérez, Germán. 1988. *López Portillo: Auge y crisis de un sexenio*. Primera edición. México: UNAM.

Moshinsky, Marcos. 1987. "Un precursor: Manuel Sandoval Vallarta". En *Manuel Sandoval Vallarta: Homenaje*. 43-58. México: Instituto Nacional de Estudios Históricos.

Narváez, Marytere. 2017, marzo 31. Manuel Robert Díaz: pionero del cultivo *in vitro* en Yucatán. Agencia informativa CONACyT. Disponible en: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/sociedad/personajes/13090-manuel-robert-diaz-pionero-del-cultivo-in-vitro-de-yucatan>

Ohgawara, T., Kobayashi, S., Ohgawara, E., Uchimiya, H. y Ishii, S. 1985. Somatic hybrid plants obtained by protoplast fusion between *Citrus sinensis* and *Poncirus trifoliata*. *Theoretical and Applied Genetics* 71: 1-4. DOI: 10.1007/BF00278245

Ondarza Vidaurreta, Raúl. 2010. "El Conacyt, los primeros centros de investigación, en particular, el CICY". En *CICY: treinta años de labor científica y educativa*. Editado por Luis del Castillo Mora, Manuel Robert Díaz, Alfonso Larqué Saavedra e Inocencio Higuera Ciapara. 11-16. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Pérez Tamayo, Ruy. 2010. "El Estado y la ciencia en México: pasado, presente y futuro". En *Formación y Perspectivas del Estado en México*. Coordinado por Héctor Fix-Zamudio y Diego Valadés. 319-350. México: UNAM, El Colegio Nacional. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2873/2.pdf>

Perez Rocha, Manuel. 1983. *Educación y Desarrollo*. Ed. Línea, Primera edición. México.

Pestre, Dominique. 1999. Commemorative Practices at CERN: Between Physicists' Memories and Historians' Narratives, *Osiris* 14 (1): 203-216.

Quintero, Rodolfo. 1985. "Introducción al programa sobre el desarrollo de la biotecnología en México". En *El cultivo de tejidos vegetales en México*. Compilado por Manuel Robert y Víctor Loyola. 15-20. México: CICY, CONACyT.

Ramos Lara, María de la Paz. 2006. La Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica. *Jornadas Anuales de Investigación* 2006 CEIICH-UNAM: 349-360.

Reinert y Binding (editores). 1986. Differentiation of Protoplasts and of Transformed Plant Cells. Results and Problems in Cell Differentiation Vol. 12

Rico, Carlos. 1991. "Finanzas, Petróleo y Política Exterior". En *México y el mundo: Historia de sus relaciones exteriores, tomo VIII Hacia la globalización*. 69-118. México: El Colegio de México. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2732/4.pdf>

Riquelme Alcántar, Gabriela. 2009. El Consejo Nacional de la Educación Superior y la Investigación Científica: expresión de la política educativa cardenista. *Perfiles educativos* 31(124): 42-56. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982009000200004&lng=es&nrm=iso

Robert, Manuel. 2010. "El cultivo *in vitro* para el mejoramiento de la productividad de las plantaciones de henequén: uno de los primeros objetivos del CICY". En *CICY: treinta años de labor científica y educativa*. Editado por Luis del Castillo Mora, Manuel Robert Díaz, Alfonso Larqué Saavedra e Inocencio Higuera Ciapara. 41-50. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Robert, Manuel y Loyola-Vargas, Víctor. 1985a. "Prefacio". En *El cultivo de tejidos vegetales en México*. Compilado por Manuel Robert y Víctor Loyola. 9-10. México: CICY, CONACyT.

Robert, Manuel y Loyola-Vargas, Víctor. 1985b. "El cultivo de tejidos vegetales en México". En *El cultivo de tejidos vegetales en México*. Compilado por Manuel Robert y Víctor Loyola. 21-26. México: CICY, CONACyT.

Robert, Manuel, Herrera, J.L., Contreras, F. y Scorer, K. 1987. *In vitro* propagation of *Agave fourcroydes* Lem. (Henequen). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 8: 37-48.

Robert M.L., Herrera J.L., Chan J.L., Contreras F. 1992. "Micropropagation of *Agave* spp." En *High-Tech and Micropropagation III. Biotechnology in Agriculture and Forestry* 19. Editado por Bajaj Y.P.S. 306-329. Berlín: Springer , Heidelberg

Seidel, Robert. 1999. The Golden Jubilees of Lawrence and Los Alamos National Laboratories. *Osiris* 14 (1): 187-202.

SEP (Secretaría de Educación Pública). 1941. *Memorias de la Secretaria de Educación Pública*, tomo III, México, Talleres Gráficos de la Nación.

Soto Laveaga, Gabriela. 2009. *Jungle Laboratories: Mexican Peasants, National Projects, and the Making of the Pill*. Primera edición. Durham: Duke University Press.

Tovar Martínez, Eduardo. 1985. "Aspectos de la vinculación con el sector productivo en el campo de cultivo de tejidos vegetales". En *El cultivo de tejidos vegetales en México*. Compilado por Manuel Robert y Víctor Loyola. 145-156. México: CICY, CONACyT.

Zentella Dehesa, Alejandro. 1997. Entrevista con el Dr. Raúl Ondarza Vidaurreta concedida al Dr. Alejandro Zentella Dehesa en el Departamento de Bioquímica de la Facultad de Medicina de la UNAM, en Ciudad Universitaria, México D.F. el martes 15 de abril de 1997. *Boletín de Educación Bioquímica* 16: 23-27.