

PROJECT MANAGEMENT VALUE ADDED SECHUM P. BROWNE IN MEXICO

Cadena Iñiguez, Jorge ¹; Arevalo Galarza, María Lourdes ¹; Cadena Zamudio, Jorge David ²; Trejo Téllez, Brenda Inocencia ¹; Morales Flores, Francisco Javier ¹; Iñiguez Luna, María Isabel ¹

¹ COLEGIO DE POSTGRADUADOS, ² Centro Nacional de Recursos Genéticos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Sechium P. Browne (Chayote) is a neotropical genus comprises ten species, only *S. edule* (Jacq.) Sw., Has domesticated variants. Its use has been eating, and Mexico is the main producer and exporter. Based on morphological, biochemical, anatomical and genetic characteristics, the stability and facilitate their phenotypic distinction heritability, a conservation plan, research and bioprospecting four species of actions in situ conservation, ex situ characterization, designed and empowerment capacity building for new projects. Field collection was integrated with 245 accessions (12 varietal groups) from Mexican and Central American provinces, supported by in vitro condition. Varieties and hybrids of high yield (bitter, sweets), machine design to increase biosafety exportable chayote, guides international certification processes based on competencies, technological development, and networks of legally registered exporters. Have derived new value-added projects and companies in minimally processed foods, nutraceutical beverages and food supplements that contribute to the treatment of malignant cells in humans and diseases of public interest, through products, therapeutic formulations and patent presentations in Mexico, Europe, India, and the United States. The application of project management skills, facilitated the formation of new value-added products.

Keywords: “Chayote”; “Mexico”; “biodiversity”; “cancer”

DIRECCIÓN DE PROYECTOS DE VALOR AGREGADO EN SECHUM P. BROWNE EN MÉXICO

Sechium P. Browne (Chayote), género neotropical compuesto por diez especies, y únicamente *S. edule* (Jacq.) Sw., tiene variantes domesticadas. Su uso es alimenticio, y México es el principal productor y exportador mundial. Con base en caracteres morfológicos, bioquímicos, anatómicos y genéticos, cuya estabilidad y heredabilidad facilitan su distinción fenotípica, se diseñó un plan de conservación, investigación y bioprospección de cuatro especies del género con acciones de conservación in situ, ex situ, caracterización, potenciación y desarrollo de capacidades para nuevos proyectos. Se integró una colección con 245 accesiones (12 grupos varietales) procedentes de México y Centro América, respaldadas en condición in vitro. Se registraron legalmente variedades de alto rendimiento (amargas, dulces), diseño de maquinaria para bioseguridad del chayote exportable, guías de certificación internacional de procesos con base en competencias, desarrollo tecnológicos, y redes de exportadores. Se han derivado nuevos proyectos de valor agregado y empresas en alimentos mínimamente procesados, bebidas nutraceuticas y suplementos alimenticios que coadyuvan al tratamiento de células malignas en humanos como enfermedades de interés público, mediante productos, formulaciones y presentaciones terapéuticas con patentes en México, Europa, India, y Estados Unidos. La aplicación de competencias en dirección de proyectos, facilitó la formación de nuevos productos con valor agregado.

Palabras clave: “Chayote”; “México”; “biodiversidad”; “cáncer”

Correspondencia: Jorge Cadena Iñiguez jocadena@gmail.com

Agradecimientos: Al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura

1. Introducción

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD por sus siglas en inglés) es un instrumento jurídico internacional orientado a crear medidas para la conservación, el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad, y el reparto equitativo de los beneficios derivados del uso de sus componentes. Reconoce dentro de sus premisas, el valor intrínseco de la diversidad biológica; para ello, ha establecido como su principal objetivo, que la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica tenga importancia crítica para satisfacer las necesidades alimentarias, de salud y de otra naturaleza de la población mundial en crecimiento, para lo que es esencial el acceso a los recursos genéticos, a las tecnologías, y a la participación en esos recursos y tecnologías (Cifuentes, Mantilla y Muñoz, 2014). En la actualidad los recursos genéticos de un país, son reconocidos como patrimonio del mismo (Brush, 2013), y a este respecto, es importante diseñar a través del conocimiento científico y técnico, proyectos necesarios que deriven valores diversos para generar riqueza.

1.1. Recursos genéticos endógenos

A nivel mundial, México ocupa el cuarto lugar en diversidad biológica y cultural (Sarukhán *et al.*, 2008) ya que confluyen las zonas biogeográficas Neártica y Neotropical que han permitido el desarrollo de casi todos los ecosistemas terrestres que hay en el mundo (Plascencia *et al.*, 2011; Rzedowski, 1993) con alrededor de 22,000 especies endémicas y se considera que ha sido centro de origen y domesticación de entre 66 a 102 especies cultivadas y multiplicadas por sus diferentes variedades (Ortega-Paczka *et al.*, 2004), con una gran cantidad de razas, y abundancia de parientes silvestres (Hernández, 1985; Rzedowski, 1995). Uno de estos grupos es el género *Sechium* P. Browne, originario de mesoamérica (Ortega-Paczka *et al.*, 1998), y de las diez especies que lo constituyen, se han realizado investigaciones en cuatro de ellas (*S. chinantlense*, *S. compositum*, *S. hintonii* y *S. edule*), con el fin de diseñar proyectos que promuevan la conservación, investigación y desarrollo agroindustrial, alimentario y de exportación. El contexto anterior puede resultar muy amplio si no se aborda la riqueza biológica bajo una disciplina que facilite identificar los alcances de cada proyecto. De acuerdo a la NCB (2009), un proyecto es definido como una operación delimitada en tiempo y costos para materializar un conjunto de entregables definidos de acuerdo con ciertos requisitos y estándares de calidad. En el presente caso de estudio, las especies se abordaron con directrices de investigación de acuerdo a términos de referencia de convocatorias públicas y privadas para obtener financiamiento, identificando las áreas de oportunidad como proyectos derivados, y se trató de conciliar por su complejidad en el formato sugerido por la NCB (2009) como cartera de programas y proyectos (Figura 1).

Figura 1. Líneas de investigación en *Sechium* P. Browne, dirigidas como Cartera de Programas y Proyectos (NCB, 2009).



El principio fundamental de conformar y desarrollar nuevas actividades en chayote, fue la diversificación económica para el sector productivo que permitiera ampliar las oportunidades y competitividad, creando una plataforma de generación de riqueza social y material a través de la obtención de nuevas variedades y productos, para diferentes sectores, favoreciendo la creación de empleos y obtención de divisas por actividades de exportación. Aunado a lo anterior, se partió de la premisa de que la variación biológica de un recurso genético es más factible de conservar, cuando se conoce o deriva el mayor número de usos transformados en productos y servicios. Con base en lo anterior, se desarrolló una serie de programas y proyectos de conservación, caracterización, evaluación, validación, mejoramiento, manejo, reproducción y aprovechamiento sustentable de la riqueza genética de cuatro especies del género *Sechium* P. Browne en México, para la producción de alimentos y principios activos para la industria.

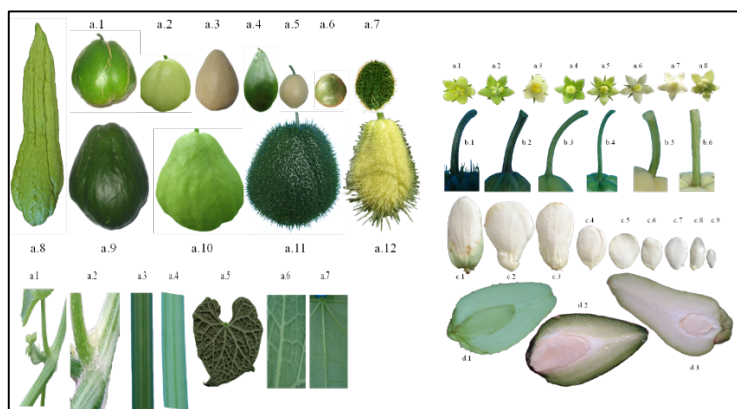
2. Metodología

La biodiversidad de *Sechium* P. Br., fue abordada bajo los lineamientos marcados por el Primer Plan de Acción Mundial para los recursos fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura de la FAO (FAO, 1996; 2011), conciliado por la complejidad de cada programa, como proyectos de desarrollo con la dirección de un Líder y su equipo de investigación y diseño de productos. El inicio fue en febrero del año 2004 y culminó en noviembre de 2014, con evaluaciones intermedias cada tres años con entregables definidos. Para la superación de los objetivos planteados por cada Líder de programa con sus proyectos, se realizaron convenios de cooperación entre distintas instituciones de Investigación y Educación Superior (IES) para acceder al uso de equipos e infraestructura, de tal forma que el financiamiento obtenido en convocatorias públicas y privadas, se utilizó para gasto corriente sin inversión, haciendo más eficiente y accesible el desarrollo de los proyectos e investigación. El esquema conceptual de intervención y diseño de proyectos, fue mediante la adaptación del enfoque de organización del trabajo científico y tecnológico sugerido por Gelman (2010), que se caracteriza por la descomposición del problema en sub problemas, lo cual conciliado con las directrices de la NCB (2009), se manejó como programas y proyectos con un enfoque sistémico, para obtener soluciones a problemas complejos, creando una metodología común y formar carteras, programas y proyectos en torno a *Sechium* P. Browne, creando un contexto metodológico común entre las partes involucradas.

3. Resultados

Con las acciones de recolecta en áreas silvestres, huertos de traspatio, caminos y huertas comerciales de 11 estados de México, además de Guatemala y Costa Rica, se creó el Banco de Germoplasma de Chayote (BANGESe), el cual consta de cinco secciones que incluye once grupos varietales en los que está clasificada taxonómicamente la biodiversidad del género (cuatro especies) que hacen 310 accesiones vivas en campo, además de 67% de las mismas accesiones, regeneradas en condiciones *in vitro*, con el fin de conservar su identidad genética. Con la biodiversidad recolectada se realizó la caracterización morfológica, bioquímica y genética, así como, la bioprospección para nuevos usos y proyectos de mejoramiento genético que se tradujeran en nuevas empresas en el mediano plazo. Con las accesiones del banco de germoplasma, representando a la variación biológica, se diseñó la guía técnica de descriptores varietales (***Guidelines for the conduct of test for distinctness, uniformity and stability***) para la UPOV (International Union for the Protection of new Plants Varieties), que facilitó la caracterización y registro legal de las variedades criollas y obtenidas por mejoramiento genético en el Catálogo Nacional de variedades Vegetales (CNVV), en acuerdo al CDB y Protocolo de Nagoya (SCDB y PNUMA, 2011). La caracterización bioquímica permitió distinguir la diversidad y contenido de metabolitos secundarios en cada tipo de chayote, y atribuir cualidades farmacológicas y nutracéuticas para realizar el diseño de nuevos proyectos con enfoque comercial, tales como, productos antineoplásicos, bebidas nutracéuticas y variedades comestibles para exportación. La Figura 2, muestra la riqueza biológica de *Sechium P. Browne*.

Figura 2. Principales rasgos distintivos de los grupos varietales y especies de *Sechium P. Br.*



Para el desarrollo de tecnología de producción en campo, se realizaron diferentes proyectos de investigación que a la postre fructificaron en el incremento de rendimientos de 54 t ha⁻¹, a 136 t ha⁻¹, mediante la mejora de las prácticas agronómicas que incluyeron modificar las fuentes, dosis y frecuencia de nutrientes y pesticidas amigables con el ambiente y el productor, manejo de poda y eliminación de herbicidas, aumento del uso de coberturas vegetales y uso de microorganismos simbiotes a la raíz (*Rhizophagus intraradices* y *Azopirillum brasilense*). A través del mejoramiento genético participativo, aplicando el método de selección visual, masal, estratificado (Molina, 1980), se derivaron tres variedades mejoradas comestibles (exportación) y siete con fines farmacológicos, éstas últimas mediante hibridación las cuales se han comercializado generando redes de productores exportadores.

Respecto a los proyectos para la industria farmacéutica, se realizaron estudios con extractos de diferentes grupos varietales con actividad citotóxica sobre líneas celulares malignas para ser usados como fuente de principios activos para la medicina complementaria; por ejemplo, el cultivar de *S. edule*, Perla Negra, es un material biológico reciente con actividad antiproliferativa y citotóxica en las líneas celulares anticancerígenas (HeLa, P-388 y L-929) con valores de IC₅₀ 1.85 µg mL⁻¹ para HeLa, sugiriendo su uso como agente potencial anticancerígeno, debido a que su IC₅₀ es menor al valor máximo de 20 µg mL⁻¹ establecido por el Instituto Nacional de Cáncer en Estados Unidos para ser considerado como agente anticancerígeno (Figura 3 A). La generación de proyectos nutraceuticos fue derivada del uso de chayotes comestibles procedentes de las mermas de huertas comerciales por calidad (manejo rudo), con el fin de aprovechar las cualidades nutrimentales y antioxidantes por su contenido de terpenos y flavonoide y compuesto fenólicos (Cadena-Iñiguez *et al.*, 2013) (Figura 3 B).

Figura 9. Presentación comercial de tres antineoplásicos y la matriz de una bebida nutraceutica



El valor tangible o valor conocido en las frutas y hortalizas, representa un valor social y económico conocido, sin embargo, los valores o cualidades intangibles de éstas, le confieren un valor diferente que la ubican en un nivel de preferencia mayor en el consumidor, y es lo que comúnmente se denomina valor agregado. Lo anterior obliga a voltear hacia la protección intelectual, y para ello, se realizaron expedientes nacionales e internacionales (PCT) para la protección legal de los desarrollos tecnológicos, las variedades biológicas, la actividad funcional, formulaciones y sus presentaciones. Además de lo anterior, se tienen como resultados, la generación de publicaciones en forma de artículos científicos, libros, formación de talentos en Master y Doctorado (Tabla 1).

Tabla 1. Proyectos y productos derivados de la biodiversidad de *Sechium P.Br.* en México

Proyecto	Inicio (año)	Estatus	Producto obtenido	Segmento económico
Banco de germoplasma	2004	Vigente	310 accesiones	Seguridad alimentaria
Producción intensiva de chayote	2005	Finalizado	Desarrollos tecnológicos	Innovación agroalimentaria
Biomedicina y hematopoyesis	2005	Vigente	Desarrollos tecnológicos	Salud: antineoplásicos
Redes de Productores	2005	Finalizado	Empresas exportadoras	Exportación
Registro de variedades de uso común	2007	Vigente	11 registros legales	Protocolo de Nagoya

Desarrollo in vitro	2008	Finalizado	Vitroplantas	Bioreactores
Bioseguridad alimentaria	2009	Finalizado	Modelo de utilidad	Productos frescos
Registro de variedades por obtentor	2010	Vigente	4 registros legales	Industria farmacéutica
Desarrollo crio conservación	2014	Vigente	Desarrollo tecnológico	Conservación largo plazo
Productos nutracéuticos	2013	Finalizado	Matriz bebidas	Alimentario
Formulación antineoplásica	2012	Finalizado	Patente (México, USA, Europa, India)	Sector salud: suplemento alimenticio

Finalmente, la investigación debe cumplir con los requisitos científicos y tecnológicos propios, pero también debe estar enmarcada dentro de los indicadores de políticas públicas del país (México) con el fin de coadyuvar en su alcance y mejorar la productividad y competitividad interna y externa, así como, contribuir a la soberanía alimentaria, salud y fuentes de empleo. Lo anterior significa para el caso de estudio presentado, que aun cuando los proyectos son finitos, con tiempos y entregables definidos, el modelo de investigación enfocado a problemas complejos debe ser dinámico, constante y pertinente, haciendo uso de los recursos endógenos del país. La Tabla 2, muestra brevemente como el mejoramiento de la plataforma productiva (primaria) del chayote impacta en indicadores de políticas públicas de México (INEGI, 2013), identificando la innovación (porque ya tiene un efecto en la economía), impacto del indicador específico y general.

Tabla 2. Descripción de innovaciones y su impacto en indicadores de políticas públicas en México.

Innovación	Impacto	Indicador general	Indicador específico
Desarrollo Tecnológico	Reducción de costos, riesgos ambientales, eliminación de agroquímicos, mejores prácticas de cultivo	<ul style="list-style-type: none"> • Ciencia y Tecnología • Económico • Ambiental 	Innovación e Investigación, Recursos financieros, Actividad económica, Suelo, sector Agropecuario
Variedades mejorada VENTLALI®; CAMPIÑA®; CAÑITAS® H 387 07® Guía Técnica de campo y empaque	Incremento final en la producción de hasta 136 t ha ⁻¹ ; Uniformidad y calidad de producto de acuerdo a Normas, Certificación internacional anual	<ul style="list-style-type: none"> • Ciencia y Tecnología 	Registros y Patentes solicitadas y concedidas, Establecimientos certificados. Competitividad; Bioseguridad
Producción sostenida de chayote	Empleo local rural anual (793 ha ⁻¹ año ⁻¹), superior a cultivos de subsistencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupación y Empleo • Sociedad y gobierno 	Población ocupada en sector primario; Tasa de trabajo asalariado. Ingresos

Nuevos mercados: Presentación de producto final	USA, Canadá, Norte de México	• Económico	y gastos de los hogares Comercio exterior, Exportación, Agricultura
Manuales Técnicos y libros para chayote, Artículos	Contribución a la ciencia y tecnología	• Ciencia y Tecnología	Producción científica y tecnológica
Investigación participativa	Talentos formados: Licenciatura, Maestría y Doctorado	• Ciencia y Tecnología	Recursos humanos, Egresados

4. Discusión

Los proyectos desarrollados con *Sechium P. Browne*, han aumentado la producción y valor económico, atribuido a procesos de obtención e inclusión de nuevas variedades, promoción de esquemas de asociación de actores rurales y transferencia de tecnología, productos de la investigación interdisciplinaria con enfoque de carteras, programas y proyectos debido a la complejidad misma, en menor tiempo, impulsado en diferentes regiones de México la producción intensiva con nuevas variedades que responden a mercados de Estados Unidos y Canadá, ubicando al país desde 2008, como primer productor y exportador mundial de esta hortaliza (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2010). Un escenario semejante ha sido registrado en España, quien con la participación interinstitucional y coordinada registra avances significativos en la conservación y utilización de sus recursos fitogenéticos (Esquinas-Alcázar, 2012). Otro dato relevante es la generación de patentes y desarrollos tecnológicos derivados de la caracterización y potenciación de la variabilidad biológica de chayotes que registra tres patentes con fines farmacológicos, un sistema de bioseguridad y un modelo de utilidad diseñado y patentado. El banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2016) promueve la creación y crecimiento de empresas dinámicas en los países de América Latina y el Caribe, fortaleciendo sus capacidades y herramientas para innovar y competir en los mercados internacionales, tratando de conjuntar el aumento de la inversión del sector privado en innovación y desarrollo tecnológico. Promover el emprendimiento innovador y la creación de nuevas empresas. Impulsar la productividad de las empresas y sus capacidades para formar redes y competir en mercados internacionales, así como, crear y fortalecer la capacidad de sus instituciones y del entorno para la innovación y el desarrollo productivo. De acuerdo a la Organización de los Estados Americanos (OEA, 2006), lo anterior es factible si se genera un entorno que favorezca el desarrollo de una industria científica y tecnológica nacional competitiva, que promueva la innovación e inversión del sector privado, la generación de empleo y satisfaga las legítimas aspiraciones de la población a mejorar sus condiciones de vida, y contribuya al desarrollo económico y con justicia social, partiendo del conocimiento y uso de sus recursos endógenos.

5. Conclusiones

Los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura originarios de México como el género *Sechium P. Br.*, son patrimonio nacional con importancia biológica, cultural, económica y alimentaria, si bien es cierto que el sistema actual de conservación implementado aborda un reducido número de especies, si ha colaborado en generar nuevos esquemas de valor además de impulsar el trabajo interdisciplinario. El modelo interdisciplinario y su conciliación con las

directrices de dirección de proyectos complejos, ha permitido generar contribuciones a la ciencia, tecnología, proyectos de valor agregado, así como, impactos en indicadores de política pública en México. La riqueza biológica de un país debe ser aprovechada para generar proyectos de índole diversa que respondan a problemas complejos del mundo real, aportando soluciones puntuales con entregables y alcances definidos.

6. Bibliografía

- Aguñiga-Sánchez, I., Soto-Hernández, M., Cadena-Iñiguez, J., Ruíz-Posadas, L.M., Cadena-Zamudio, J.D., González-Ugarte, A.K., Weiss-Steiderd B., Santiago-Osorio, E. (2015). Fruit extract from a *Sechium edule* hybrid induce apoptosis in leukaemic cell lines but not in normal cells. *Nutrition and Cancer* 0(0)1-8.
- Avendaño-Arrazate, C., Cadena-Iñiguez, J., Arévalo-Galarza, M.L., Campos-Rojas, E., Cisneros-Solano, V.M y Cisneros-Solano, V.M. (2010) Las variedades del chayote mexicano, recurso ancestral con potencial de comercialización. Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México, A.C. (GISEM). México, 88 p.
- BID (2016). <http://www.iadb.org/es/temas/competitividad-tecnologia-e-innovacion/competitividad-tecnologia-e-innovacion,1366.html>. Consultado 21 mayo 2016
- Brush, S.B. (2013). Agrobiodiversity and law: regulating genetic resources, food security and cultural diversity. *The Journal of Peasant Studies*, 40, 447-449
- Cifuentes, G.E., Mantilla, L.S., Muñoz, J.E. (2014). Negociaciones para la Construcción de un Régimen Internacional de Acceso a los Recursos Genéticos: El camino hacia el Protocolo de Nagoya. *Jurídicas CUC*, 10(1), pp. 329-364.
- Cadena-Iñiguez, J., Soto-Hernández, M., Torres-Salas, A., Aguiñiga-Sánchez, I., Ruiz-Posadas, L., Rivera-Martínez, A.R., Avendaño-Arrazate, C., Santiago-Osorio, E. (2013). The antiproliferative effect of chayote varieties (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) on tumour cell lines. *Journal of Medicinal Plants Research* 7(8):455-460.
- Esquinas-Alcázar, J. (2012) Libro blanco de los recursos fitogenéticos con riesgo de erosión genética de interés para la agricultura y la alimentación en Andalucía/ Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación: Dirección General de La Producción Agrícola y Ganadera. España, 202 p.
- FAO. (1996) Plan de Acción Mundial para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura y la Declaración de Leipzig. Alemania, 64p.
- FAO. (2011) Segundo Plan de Acción Mundial para los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 104 p.
- Gelman, M.O. (2010). El papel del marco conceptual y la base metodológica en la investigación interdisciplinaria. *Investigación Interdisciplinaria*. Vol. 1, 20-30, Colegio de Postgraduados, México.
- Molina, G.J.D. (1980) Selección masal para resistencia a sequía en maíz. *Agrociencia* 42: 69-77.
- NCB. (2009). Bases para la Competencia en Dirección de Proyectos. Versión 3.1AEIPRO-IPMA. Editorial UPV. ISBN 978-84-8363-502-5, España. pp. 31-32
- OEA. (2006). http://www.oas.org/es/temas/sociedad_conocimiento.asp consultado 21 mayo 2016
- Ortega-Pazcka, R., Martínez, A., M.A. Sánchez E., J.J. (2004). Recursos fitogénéticos autóctonos. consultado: <http://www.sinarefi.org.mx/biblioteca/informes/informe2000.pdf#page=33>.

- Plascencia, R. L., Castañón, A., Raz-Guzmán, A. (2011). La biodiversidad en México su conservación y las colecciones biológicas. *Ciencias*, Issue 101, pp. 36-43.
- Rzedowski, J. (1993). Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. In: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, and J. Fa (eds.). *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. Oxford University Press. Pp.129-144
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Hallfer, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S. & de la Maza, J. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. México, D.F.: Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.