

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

Abril - Junio 2021

ISSN: 2683-2607

No. 120

La helicultura como alternativa de desarrollo en México

El Herbario Metropolitano: 40 años de fecunda labor botánica

Fibras de Plásticos de Alto Rendimiento: los polibencimidazoles



Contenido

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

No. 120 Abril - Junio 2021

Editorial	3	<i>El Herbario Metropolitano: 40 años de fecunda labor botánica</i>	47
		M.B. Ivonne Nayeli Gomez Escamilla M. C. Ana Rosa López Ferrari	
<i>Ambytoma, un fascinante género de anfibios en México</i>		<i>Fibras de Plásticos de Alto Rendimiento: los polibencimidazoles</i>	
Lic. Arturo Yhair Cordero Lezama	5	Dra. Miriam García Vargas	60
Dr. Aurelio Ramírez Bautista		Dr. Joaquín Palacios Alquisira	
Dra. Sylvia Martínez Hernández		Dra. Larissa Alexandrova	
Dr. Pablo Octavio Aguilar			
<i>La heliocultura como alternativa de desarrollo en México</i>	19	Fe de erratas	76
Lic. Jocelyn Saharaim Corzas Cruz			
Dra. Sonia Emilia Silva Gómez			
<i>Reconocimiento de lengua de señas como medio para un mundo más inclusivo</i>	35		
M.C. Daniel Sánchez Ruiz			
Dr. J. Arturo Olvera López			
Dr. Ivan Olmos Pineda			

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería
en la WEB

Lea los artículos publicados en
<https://contactos.izt.uam.mx/>



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



CONACYT
ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Rector General

Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro.

Secretario General

Dr. José Antonio de los Reyes Heredia.

UNIDAD IZTAPALAPA

Rector

Dr. Rodrigo Díaz Cruz.

Secretario

Dr. Andrés Francisco Estrada Alexanders.

Director de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia.

Directora de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Dra. Sara Lucía Camargo Ricarlde.

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería:

Consejo Editorial:

Dr. Rodrigo Díaz Cruz,

Dr. Andrés Francisco Estrada Alexanders,

Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia,

Dra. Sara Lucía Camargo Ricarlde.

UAM- Iztapalapa

Editora en Jefe:

M. C. Alma Edith Martínez Liconá.

Comité Editorial por CBS:

Dra. Edith Arenas Ríos, Dra. Laura Josefina Pérez Flores, Dr. Pedro Luis Valverde Padilla,

Por CBI:

Dr. Hugo Ávila Paredes.

Por la Universidad Iberoamericana:

Mtro. Adolfo G. Fink – Pastrana.

CONTACTOS, REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA. 3ª Época, No. 120,

Abril - Junio 2021, es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería y División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C. P. 14387, México, Ciudad de México y Av. San Rafael Atlixco No. 186, Edificio T174, Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, C. P. 09340, México, Ciudad de México, Tel. 5804 – 4634 Página electrónica de la revista: <https://contactos.izt.uam.mx/> y dirección electrónica: cts@xanum.uam.mx Editora responsable MC Alma E. Martínez Liconá. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2013-042212044000-203, ISSN 2683-2607, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Mtra. Alma E. Martínez Liconá; Unidad Iztapalapa, División de CBI y CBS; fecha de última modificación 30 de Junio de 2021. Tamaño del archivo 45 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Fecha de Publicación: Abril - Junio de 2021.

Los artículos publicados en **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería** son sometidos a arbitraje; para ello se requiere enviar por mail el trabajo en

Word. Toda correspondencia deberá enviarse a:

Comité Editorial de **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería,**

UAM – Iztapalapa, T – 174, Tel. 5804-4634

Av. San Rafael Atlixco No. 186, C. P. 09340, CDMX.

Apartado Postal 55 -534

<https://contactos.izt.uam.mx/> e-mail cts@xanum.uam.mx

Editorial

Rápidamente hemos llegado a la mitad de este año, esperando regresar pronto a nuestras actividades de forma presencial. En lo que esto sucede los invitamos a leer nuestro segundo número del año, el cual contiene artículos diversos e interesantes los cuales se han seleccionado debidamente para seguir manteniendo el interés de nuestros amables lectores y el nivel de calidad de la revista.

En este número aprenderemos de la síntesis y procesamiento de los polibencimidazoles (PBIs) los cuales son una clase de polímeros de alto rendimiento y de sus aplicaciones, no solo en la industria textil, sino también, en membranas de separación de gases, materiales de revestimiento para aviones y naves espaciales, etc.

También tomaremos conciencia de la problemática de comunicación de las personas con sordera total en el artículo “Reconocimiento de lengua de señas como medio para un mundo más inclusivo”, donde se presenta una descripción sobre los sistemas de reconocimiento de lengua que surgen como desarrollos tecnológicos que buscan hacer más fácil la comunicación. Así como éstos, encontrarán más artículos interesantes, los cuales los invitamos a descubrir esperando sean de su agrado.

Atentamente

MC Alma E. Martínez L.
Editora en Jefe



Información para autores

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería, Revista dirigida a profesores y a estudiantes de estas disciplinas.

Está registrada en el índice de revistas de divulgación de Conacyt, así como en Latindex, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

Para publicar, los trabajos deberán ser originales y accesibles a un público amplio con formación media superior o universitaria pero no especializada; los temas deberán presentarse en forma clara. Cada colaboración debe incluir figuras, diagramas, ilustraciones, fotografías, etc. (otorgando el crédito correspondiente en caso de no ser original), que hagan más accesible la presentación.

Las secciones que la constituyen son:

1. Divulgación. Artículos que presentan temas científicos con enfoques novedosos y accesibles (15 cuartillas).

2. Educación científica. Enfoques originales en la enseñanza de temas particulares (15 cuartillas).

3. Artículos especializados. Reportes breves de investigación, relacionados con una problemática concreta (15 cuartillas).

4. Crónicas. Historia y desarrollo de conceptos científicos, así como teorías alternativas (15 cuartillas).

5. Divertimentos. Juegos y acertijos intelectuales (5 cuartillas).

6. Noticias breves. Información de actualidad en el mundo de la ciencia (4 cuartillas).

7. Los laureles de olivo. Los absurdos de la vida cotidiana y académica (4 cuartillas).

En todos los casos se debe incluir los nombres completos de los autores con su adscripción, dirección, teléfono y dirección de correo electrónico.

Normas

Las colaboraciones a las secciones 1 a 4 deberán ajustarse a las siguientes normas:

1. Resumen escrito en español e inglés.
2. 4 palabras clave en español en inglés.
3. Cuando se incluya una abreviatura debe explicarse por una sola vez en la forma siguiente: Organización de los Estados Americanos (OEA)...
4. Cuando se utilice un nombre técnico o una palabra característica de una disciplina científica deberá aclararse su significado de la manera más sencilla

posible.

5. Las citas textuales deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: En cuanto la publicación del placebo se asevera que “el efecto placebo desapareció cuando los comportamientos se estudiaron en esta forma” (Núñez, 1982, p.126).

6. Las referencias (no más de 10) se marcarán de acuerdo al siguiente ejemplo: Sin embargo, ese no es el punto de vista de la Escuela de Copenhague (Heisenberg, 1958), que insiste en...

7. Al final del artículo se citarán las referencias por orden alfabético de autores. Pueden añadirse lecturas recomendadas (no más de 5).

8. Cada referencia a un artículo debe justarse al siguiente formato: Szabadváry, F. y Oesper, E., Development of the pH concept, J. Chem. Educ, 41 [2], pp.105 -107, 1964.

9. Cada referencia a un libro se ajustará al siguiente formato: Heisenberg, W., Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science, Harper Torchbook, Nueva York, pp.44-58, 1958.

10. Para páginas electrónicas: dirección (fecha de acceso).

11. Los títulos de reportes, memorias, etcétera, deben ir subrayados o en itálicas.

Envío y características del artículo

El envío del artículo deberá ser en archivo electrónico, en Word, tipo de letra Time New Roman, tamaño 12 con interlineado sencillo y uso de editor de ecuaciones.

En el caso de ilustraciones por computadora (BMP, JPG, TIFF, etc.) envíelos en archivos por separado. El material es recibido en:

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería.

UAM – Iztapalapa, T-174,

Información: cts@xanum.uam.mx, tel. 5804-4634

Av. San Rafael Atlixco, 186, C. P. 09340,

CDMX. A.P. 55-534

Arbitraje

El Comité utiliza un sistema de arbitraje anónimo que requiere un mes. Se entiende que los autores no han enviado su artículo a otra revista y que dispondrán de un plazo máximo de un mes para incorporar las observaciones de los árbitros.

La decisión final de publicar un artículo es responsabilidad exclusiva del Comité Editorial.

***Ambytoma,* un fascinante género de anfibios en México**



**Lic. Arturo Yhair Cordero Lezama
Dr. Aurelio Ramírez Bautista
Dra. Sylvia Martínez Hernández
Dr. Pablo Octavio Aguilar
Centro de Investigaciones Biológicas
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**

Abstract

Ambystoma species have a role in daily life, folklore, applications, customs, diet and medicinal treatments in Mexico, country with 17 endemic species. In addition, *Ambystoma* species function as bioindicators (species that help to detect alterations in ecosystems such as excessive exploitation, pollution or climate change) due to the nature of their life cycle, that fluctuates between aquatic and terrestrial life. The present work exposes the main generalities of the *Ambystoma* genus, the endemic species to Mexico, their ecological and cultural importance, and risks and threats that they face.

Keywords

Ambystoma, species, bioindicators, importance.

Resumen

Las especies pertenecientes al género *Ambystoma*, tienen un papel en la cotidianidad, folklor, usos, costumbres, dieta y tratamientos medicinales en México, cuyo territorio alberga 17 especies endémicas. Además, las especies de *Ambystoma* funcionan como bioindicadores (especies que ayudan a detectar alteraciones en los ecosistemas tales como explotación excesiva, contaminación o cambio climático) debido a la naturaleza de su ciclo de vida, que fluctúa entre una vida acuática y terrestre. El presente trabajo expone las principales generalidades del género *Ambystoma*, las especies endémicas a México, su importancia ecológica y cultural, así como los riesgos y amenazas que enfrentan.

Palabras clave

Ambystoma, especies, bioindicadores, importancia.

Introducción

Actualmente la diversidad biológica enfrenta fuertes problemas de conservación a nivel mundial, mismos que han conllevado a que estemos viviendo la sexta extinción masiva. Este desafortunado evento, se ha atribuido a seis causas principales: (1) destrucción, alteración y fragmentación del hábitat, (2) introducción de especies exóticas que pueden llegar a ser invasoras, (3) uso y explotación de recursos no renovables, (4) contaminación, (5) enfermedades emergentes, y (6) el cambio climático global. Ante este panorama, es urgente conocer la mayor cantidad de especies posible de los diferentes grupos biológicos debido a la alta tasa con la que se están perdiendo antes de ser percibidas y descritas para la ciencia (Johnson et al., 2017).

Se estima que en el mundo existe un total aproximado de 8.1 millones de especies tomando en cuenta todo tipo de organismos. De estas, 7,969 son especies de anfibios y más de 10,000 de reptiles. En este contexto, la herpetofauna mexicana se encuentra entre las más diversas del mundo, ya que representa el 10% a nivel mundial. Esta riqueza de especies, está distribuida en 59 familias, 216 géneros y 1,292 especies distribuidas en seis órdenes (Anura, Caudata, Gymnophiona, Crocodylia, Squamata y Testudines). De esta fauna, el 61.1% de las especies son endémicas a México. Estas cifras indican que México presenta una riqueza de especies alta. No obstante, el conocimiento de la herpetofauna mexicana es insuficiente debido, entre otros factores, a que se conoce poco del impacto que han tenido las actividades antropogénicas sobre la misma y a que muchas regiones del país permanecen aún sin ser estudiadas (Johnson et al., 2017).

En México, los anfibios (anuros, salamandras y cecilias) están representados por arriba de 394 especies, colocándolo en el quinto lugar del mundo, sólo antecedido por Brasil (1,040 especies), Colombia (776); Perú (589 especies), y Ecuador (556 especies). En lo que respecta a la familia Ambystomatidae (ajolotes), México cuenta con 18 especies, de las cuales 17 son endémicas (Johnson et al., 2017). Tomando en cuenta la gran proporción de especies endémicas de este género en el país, el presente trabajo expone las principales generalidades del género *Ambystoma*, las especies endémicas a México, así como los riesgos y amenazas que enfrentan, además de su importancia ecológica y cultural.

Historia natural de la familia Ambystomatidae

Esta familia, se compone por 32 especies repartidas en dos géneros y se distribuye desde Norte América al sur del Altiplano Mexicano. Específicamente, desde Alaska y sur de Canadá hasta la Faja Volcánica Transmexicano. Estas especies son de hábitos terrestres, pero regresan al agua para reproducirse; son ovíparos, ponen sus huevos en cuerpos de agua temporales o permanentes; presentan desarrollo larvario, otros presentan metamorfosis y se tornan terrestres. No obstante, algunas especies (*Ambystoma gracile*, *A. mexicanum*, y *A. talpoideum*) son neoténicas, es decir, alcanzan la madurez sexual en estadios larvarios (paedomorfosis), esta condición se caracteriza por la retención de sus branquias externas y su permanencia en forma de “ajolote” (juvenil) mientras la calidad y cantidad de agua sean la óptimas para sus necesidades, es decir, si el embalse o cuerpo de agua en que viven se seca, cambian su forma de cuerpo a la forma adulta para migrar. La mayoría de las especies de esta

familia, pasan la mayor parte del año bajo tierra, en madrigueras, y emergen sólo en las noches de lluvia para reproducirse y alimentarse (Espinal y Smith, 2009).

Respecto al período reproductivo, se ha reportado que este puede ocurrir entre los meses de junio a julio, en época de lluvias o entre abril y mayo (Espinal y Smith, 2009).

Especies endémicas a México

En México, el género *Ambystoma* (Fig. 1) está conformado de 17 especies endémicas (Cuadro 1), de las 18 especies que habitan en el país (Johnson et al., 2017). Las especies de *Ambystoma* mexicanas, comúnmente conocidas como “ajolotes”, se distribuyen en el noreste y Altiplano Mexicano (Fig. 2), a una altitud que va de los 1, 600 a los 3, 600 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) (Johnson et al., 2017). A menores elevaciones se encuentran *Ambystoma rosaceum* y *A. tigrinum* (a los 1600 m.s.n.m o metros sobre el nivel del mar); mientras que el resto, se distribuyen en la Faja Volcánica Transmexicana y en algunos lagos del Altiplano Mexicano, en los estados de Michoacán (*Ambystoma dumerili* en el Lago de Patzcuaro y *A. andersoni* en la laguna de Zacapu), Ciudad de México (*A. mexicanum* en el lago de Xochimilco) y Puebla (*A. taylori* en la laguna de Alchichica) (Huacuz-Elias, 2001).



Figura 1. Individuo juvenil de *Ambystoma velasci*.

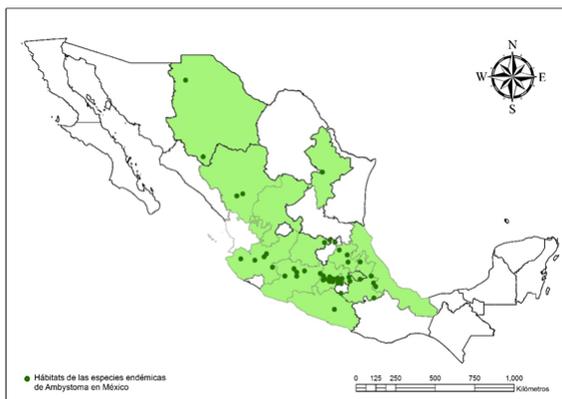


Figura 2. Distribución del género *Ambystoma* en México.

Importancia ecológica

En general, los anfibios funcionan como indicadores de la calidad del ambiente o bioindicadores (especies que ayudan a detectar alteraciones en los ecosistemas tales como explotación excesiva, contaminación o cambio climático) debido a la naturaleza de su ciclo de vida, que fluctúa entre una vida acuática y terrestre. Su piel húmeda, glandular y permeable, que les permite respirar, también los hace más vulnerables a los contaminantes, la salinización, la desecación y a los cambios de pH, etcétera. Además, sus huevos carentes de cascara, se encuentran en contacto con el agua, el suelo y la luz solar, esto hace que en esta etapa se vean expuestos y puedan presentar anomalías durante el desarrollo embrionario. Por ejemplo, las especies de *Ambystoma*

son integrantes importantes del ecosistema, y al desenvolverse en diferentes sectores ambientales, su equilibrio corporal refleja las múltiples influencias que operan en el ecosistema. Esto quiere decir que son excelentes indicadores biológicos de la calidad del ambiente, sobre todo de aquellos con gran disturbio, ya que, el hecho de habitar tanto el medio terrestre y como el medio acuático, los hace endeble al efecto de los contaminantes; también son químicamente sensibles, debido a que su piel, altamente permeable, absorbe rápidamente sustancias tóxicas (Huacuz-Elias, 2001).

La importancia de las especies del género *Ambystoma* como bioindicadores, se ha visto evidenciada en diversos estudios. Por ejemplo, en las Montañas Rocosas de Colorado (E.U.A) se determinó que las poblaciones de *Ambystoma tigrinum* son altamente afectadas por la acidificación del medio. Esto, debido a que se observó disminución en el tamaño de la población, debido a un escaso reclutamiento de larvas (Huacuz-Elias, 2001).

Por otra parte, *A. maculatum* es una excelente especie que puede detectar cambios en el pH, principalmente debido a que: (1) Es una de las especies más sensibles a los efectos tóxicos directos de un pH bajo, (2) Se reproduce en estanques temporales, hábitats más vulnerables a la acidificación, (3) Más del 75 % de su rango en Canadá está siendo afectado por la deposición ácida, y (4) Su abundancia y el éxito reproductivo son relativamente fáciles de medir en campo (Huacuz-Elias, 2001).

La evaluación de la salud de las poblaciones de anfibios se está volviendo cada vez más importante debido a la disminución a escala global de sus poblaciones

debido en gran medida a enfermedades y degradación del hábitat. Al respecto, los anfibios urodelos, como lo son los ajolotes, al carecer de un sistema inmunitario más especializado como el de los anuros, aves y mamíferos, dependen mayormente de los mecanismos de defensa innatos para proporcionar una protección rápida y no específica contra patógenos. En este sentido, los recuentos de la cantidad de células inmunes circulantes (glóbulos blancos o leucocitos) son especialmente útiles para medir el estado inmune de los animales, y los investigadores los utilizan cada vez más en una variedad de entornos de conservación y/o investigación. En estas situaciones, los números de cada uno de los cinco tipos de glóbulos blancos (el perfil de leucocitos) se determinan típicamente a partir del examen microscópico de películas de sangre. Cada tipo de célula realiza una función diferente en el sistema inmune innato. Los neutrófilos son los primeros leucocitos fagocíticos que actúan y proliferan en la circulación en respuesta a infecciones, inflamaciones y estrés. Los linfocitos están involucrados en varias funciones inmunológicas, como la producción de inmunoglobulina y la modulación del sistema inmunológico. Los eosinófilos actúan en procesos inflamatorios y están asociados con la defensa contra los parásitos metazoos. Los monocitos están asociados con la defensa contra infecciones y bacterias. Finalmente, el papel exacto de los basófilos no es aún aclarado, pero se sabe que están implicados en el proceso de inflamación (Barriga-Vallejo et al., 2015).

La evaluación del recuento diferencial de glóbulos blancos (leucocitos) a partir de frotis de sangre es una forma de obtener esta información, y los herpetólogos utilizan cada vez más este enfoque para medir la integridad de las poblaciones de

anfibios. Este enfoque es especialmente útil en entornos naturales porque los perfiles de leucocitos de anfibios pueden variar dependiendo de los procesos biológicos y fisiológicos, incluidos los causados por factores ambientales. En México, hay escasos estudios de esta naturaleza, pero en un estudio del perfil de leucocitos del Axolotl de Toluca (*Ambystoma rivulare*) realizado con individuos de Amanalco de Becerra, en el Estado de México, se pudo evaluar la salud de la población y, a su vez, los factores de estrés en la misma (Barriga-Vallejo et al., 2015).

Aunado a lo anteriormente mencionado, los integrantes del género *Ambystoma* son componentes importantes de la cadena trófica, ya que en su fase larvaria son herbívoros y como adultos son carnívoros y grandes consumidores de invertebrados (Huacuz-Elias, 2001).

Finalmente, es importante señalar que de las 17 especies endémicas de *Ambystoma* reconocidas en México, 15 se encuentran restringidas a altitudes por encima de los 1600 m.s.n.m, en las montañas de la Faja Volcánica Transmexicana, y cinco en lagos del Altiplano Mexicano, lo que convierte a la Faja Volcánica Transmexicana y a la orilla sur del Altiplano Mexicano en un área clave para la conservación de estas especies. Es una región que alberga una alta riqueza de plantas y factores micro ambientales favorables, siendo el sur de la planicie con un clima seco semiárido de bosques de encino, ocasionalmente pino y/o bosque de oyamel con los grandes lagos remplazados por arroyos de montaña de corriente rápida donde se localiza el resto de las especies; por lo que, es ecológicamente importante. Además, en esta área se localizan los límites de distribución del

género y se ha observado que el declive de las especies es más intenso en sus límites de distribución, tanto latitudinales como altitudinales (Huacuz-Elias, 2001).

El género *Ambystoma* y su importancia cultural

El origen del nombre del género *Ambystoma* ha sido discutido debido a que, por mucho tiempo, se ha pensado que esta deriva de la palabra griega *ambly*, que significa “tosco” o “amplio” o de la palabra griega *anaby*, que significa rellenar (dentro). En México, a los integrantes de este género se les conoce coloquialmente como ajolotes. Este nombre deriva del nahúatl (axólotl) que quiere decir “xólotl de agua”, significado que se ha traducido como “juguete de agua”, “monstruo acuático”, “gemelo de agua” o “perro de agua”, y está asociado al dios Xólotl, hermano gemelo, monstruoso y deforme del dios Quetzalcóatl (Mena-González y Servín-Zamora, 2014).

De acuerdo a la leyenda del quinto sol, en la ciudad sagrada de Teotihuacán, los dioses Nanahuatzin y Tecuciztécatl se arrojaron a la hoguera para transformarse en el sol y la luna, respectivamente; pero el resto de los dioses, al darse cuenta de que el sol y los astros seguían sin moverse, decidieron morir también, a excepción del dios Xólotl, quien se negó al sacrificio por temor a la muerte y escapó mediante sus poderes de transformación convirtiéndose en un ajolote, en cuya forma, finalmente halló la muerte (Mena-González y Servín-Zamora, 2014).

La importancia cultural del ajolote se refleja en la cotidianidad, folclor, sus usos, costumbres, dieta y tratamientos medicinales. En este sentido, el ajolote se utiliza en forma de jarabe para tratar

afecciones de las vías respiratorias, como tos, gripa y neumonía; para dar vitalidad a adultos mayores, niños y personas con anemia, o bien, para problemas asociados con la desnutrición; a las mujeres que se encuentran gestando o acaban de parir, se les da caldo de *achójki* con atole todos los días para que se “alivien”; además se utiliza como reconstituyente para las mujeres en período de lactancia, y además se consume para “curar la tristeza”. Su uso como un elemento peculiar de la dieta, se relaciona con el aporte proteínas, vitaminas y minerales, pero los datos sobre sus aportes nutricionales no han sido comprobados (Velarde-Mendoza, 2012).

Factores responsables de la declinación de las especies

Se han detectado diversos factores que han promovido la declinación mundial de las poblaciones de anfibios y estos se clasifican en factores de carácter global (mundial) y factores de carácter particular (Huacuz-Elias, 2001).

En lo que se refiere a los factores globales, se destaca el efecto invernadero o calentamiento global, debido al aumento en la cantidad de gases, como el monóxido y dióxido de carbono en la atmósfera, los cuales permiten el paso de la radiación solar, que calienta la superficie terrestre, pero impiden la salida de radiación infrarroja al espacio exterior, lo que resulta en un incremento en la atmósfera. Dicho aumento, propicia cambios generalizados en las condiciones climáticas, que a su vez puede producir una alteración de los ciclos de vida de los anfibios (Huacuz-Elias, 2001).

Otro factor importante es la lluvia ácida, fenómeno que es provocado por la reacción química que se produce entre los óxidos de

azufre y nitrógeno (emitidos por las centrales térmicas, automóviles, en industrias que utilizan combustibles fósiles) y la humedad presente en la atmósfera, provocan una baja en el pH del suelo, y del agua, la destrucción de la vegetación. En el caso de los anfibios, la acidificación del medio puede desencadenar importantes declives en las poblaciones debido a descensos temporales de pH al inicio del deshielo, como es el caso de algunos urodelos en Norteamérica (Huacuz-Elias, 2001).

Factores de carácter particular o local, son la destrucción y la modificación de hábitats mediante la deforestación, desarrollo urbano, canalización de ríos y arroyos y azolve; la contaminación dada por la descarga de aguas residuales y desechos sólidos; la introducción de especies alóctonas (ajenas al hábitat) que desencadena alteraciones en la cadena trófica. Así como la captura y explotación de estos organismos que mayormente se dan son de forma ilegal y sin control (Huacuz-Elias, 2001).

De acuerdo a un informe realizado publicado por la Universidad Nacional Autónoma de México sobre la abundancia y estructura poblacional de *A. mexicanum* en los sistemas dulceacuícolas de Chalco y Xochimilco. En este último sitio, la población decreció notablemente en un periodo de cinco años. Esto se relacionó con la sobrevivencia de los ajolotes ante diversas amenazas durante su primer año de vida, el cual es crucial en la tasa de crecimiento poblacional. Dentro de estas amenazas, se encuentran la baja calidad del agua que puede producir crecimiento de hongos en los huevos o disminución en la viabilidad de eclosión; la depredación de los huevos y juveniles, por parte de especies exóticas, en particular carpas

(que pueden depredar a los huevos) y las tilapias (que pueden depredar a los huevos y/o juveniles pequeños), y la pesca ya que los ajolotes, a los cuatro meses de edad, pueden ser fácilmente capturados. La combinación de estas tres amenazas puede explicar la distribución poco homogénea y la fuerte disminución de la población de *A. mexicanum* en Xochimilco. En este sentido, la IUCN (La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza o la International Union for Conservation of Nature por sus siglas en inglés) ha catalogado a *A. mexicanum* como una especie críticamente amenazada por ocupar apenas un área menor a 10 km². El hábitat acuático donde se puede desenvolver esta especie, se ha visto dramáticamente reducido. En Xochimilco, de los 180 km de canales, menos de 10 km aún conservan las condiciones requeridas para reproducción del ajolote (alta transparencia y concentración de oxígeno, salinidad apropiada y pocas especies exóticas) y dentro de esa área el hábitat se encuentra severamente fragmentado (Recuero et al., 2010).

Medidas de conservación

En México, casi todas las especies de *Ambystoma* están protegidas por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2010) para la protección de especies nativas de flora y fauna. La mayoría de las especies *Ambystoma* incluidas en esta norma, se encuentran sujetas a protección especial (Pr), es decir, son especies que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que, se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas. Por otro lado, las especies *A. altamirani*, *A. leorae* y *A. rivulare* se encuentran en la categoría de

especies amenazadas (A), la cual engloba a especies o poblaciones de las mismas, que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazos, si se continúa con el deterioro de su ambiente. En una situación más preocupante, se encuentra *A. mexicanum*, especie que se ubica en la categoría de especie en peligro de extinción (P), que incluye especies cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el territorio nacional, han disminuido dramáticamente. Lo que pone en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural.

A nivel internacional, La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés Convention of International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora), cuyo objetivo principal es regular el tránsito de las especies amenazadas y de reducir el comercio ilícito de las mismas, establece diferentes categorías: Apéndices I, II y III, según el grado de protección que necesiten. En el Apéndice I se incluyen todas las especies en peligro de extinción. El comercio de especímenes de esas especies, se autoriza solamente bajo circunstancias excepcionales. En el Apéndice II, se incluyen especies que no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, pero cuyo comercio debe controlarse a fin de evitar una utilización incompatible con su supervivencia. Precisamente, en este último apéndice están incluidas las especies *Ambystoma dumerilii* y *A. mexicanum* (CITES, 2017).

Por su parte, la IUCN, cuyo objetivo es apoyar a las sociedades de todo el mundo en los programas de conservación y de esta forma cuidar la diversidad de la naturaleza, y asegurar que todo uso

de los recursos naturales sea equitativo y ecológicamente sostenible. Ha desarrollado la llamada Lista Roja de Especies Amenazadas, que funge como un inventario mundial, que permite alertar respecto al estado de la biodiversidad mundial, además sus aplicaciones a nivel nacional permiten a los tomadores de decisiones considerar las mejores opciones para la conservación de las especies. Esta lista está organizada en una serie de categorías, las cuales son determinadas de acuerdo a un conjunto de criterios para evaluar el riesgo de extinción de las especies incluidas. En este sentido, especies como *A. velasci* y *A. rosaceum* están incluidas en la categoría de Preocupación menor (LC, Least Concern), en la que se engloban especies que no se encuentran en peligro crítico de extinción y que tienen una distribución amplia, además de que sus especies presentan alta densidad. No obstante, especies como *A. mexicanum* y *A. andersoni*, se encuentran catalogadas en la categoría En Peligro Crítico (CR, Critically Endangered), la cual engloba especies que enfrentan un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre. *A. andersoni*, se ve particularmente amenazada por la contaminación de su hábitat debido a las actividades agrícolas y turísticas de los alrededores, por su cosecha con fines alimentarios y por la introducción de peces depredadores en su hábitat (IUCN, 2019).

En el caso de *A. mexicanum*, gracias a la coordinación de investigadores e instituciones se han creado varias colonias cautivas en México y en el extranjero de esta especie, organizando redes de investigadores que promueven el estudio multidisciplinario de las poblaciones silvestres y cautivas, además de medidas de conservación para preservar todas las especies de *Ambystoma*,

así como el de sus hábitats. No obstante, aunque la conservación de las especies de *Ambystoma* puede estar garantizada debido a las colonias en cautiverio las poblaciones silvestres y sus hábitats requieren medidas de conservación urgentes para evitar su extinción en sus hábitats naturales. Además de los desafíos asociados con las restauraciones de hábitats, se deben considerar otros factores antes de la reintroducción de animales criados en cautiverio a poblaciones silvestres como la propagación enfermedades que a su vez provoca la diseminación de epidemias y enfermedades emergentes, como la quitridiomycosis que ha afectado a individuos en colonias cautivas de *Ambystoma mexicanum* en el Instituto de Biología (UNAM). Antes de cualquier reintroducción de estos individuos a poblaciones naturales o restauradas, debe haber plena seguridad de que todas las colonias estén libres de enfermedades (Recuero et al., 2010).

Manejo y Aprovechamiento Sustentable

Especies como *A. mexicanum* (Fig. 3) y *A. durmerilli* (Fig. 4) han sido objeto de una regulación y aprovechamiento sustentable a nivel nacional. Por ejemplo, la región purépecha del lago de Pátzcuaro, ha sido escenario de acciones de recuperación desde la década de los años 30 con el presidente Lázaro Cárdenas. Aunque en México, instancias de los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal han tenido una presencia en infraestructura, oficinas y programas de manejo, no existe una coordinación adecuada entre las mismas, además existe gran desconfianza de la población hacia a las instituciones y desacuerdos al interior de la comunidad. A pesar de ello, se han logrado implementar Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAs), las cuales son reguladas

por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Las UMAs, funcionan como una fuente de ingresos para los pobladores, evitando así la sustracción ilegal de especies en estado silvestre, y de esta forma, dar bases para que disminuya la pérdida de variabilidad genética a largo plazo al tener varias subpoblaciones de la especie (Velarde Mendoza, 2012).

Para *A. durmerilli* se han implementado algunas UMAs, y un PIMVS (Predios o Instalaciones que Manejan Vida Silvestre) dedicados exclusivamente al cultivo de esta especie (Velarde-Mendoza, 2012), los cuales son los siguientes:

La UMA Jimbani Erandi, se encuentra en una estación biológica para el estudio integral y aprovechamiento sustentable de *A. durmerilli*, pertenece a la comunidad de monjas dominicas de clausura, quienes elaboran desde hace más de cien años el “jarabe de achójkí”. Se ubica en el convento de Pátzcuaro, es una UMA bastante exitosa debido a la buena organización de sus propietarias (Velarde-Mendoza, 2012).

El PIMVS Jimbani Tzipekua, se encuentra en la isla de Janitzio, Pátzcuaro, comenzó su operación en el año 2009, y actualmente funge como un sitio clave para la conservación, la exhibición, la educación ambiental y el aprovechamiento comercial del *A. durmerilli* (Velarde-Mendoza, 2012).

La UMA Dumerilii destinada a la reproducción de *A. durmerilli* que se registró en el año 2010 (Velarde-Mendoza, 2012).

La UMA “CRIP PÁTZCUARO”, que en el año 2016 fue autorizada por la SEMARNAT para el cultivo de *Ambystoma*

dumerilli y para cumplir los siguientes objetivos:

- Contribuir en la reproducción del achoque (*Ambystoma dumerilli*), en condiciones de laboratorio.
- Contribuir en la recuperación de la población natural de achoque (*A. dumerilli*), mediante la liberación de crías producidas en laboratorio.
- Generar investigación sobre la biología y manejo de la especie, que nos permita contribuir en la sustentabilidad y conservación de la misma.

En lo que se refiere a *Ambystoma mexicanum*, el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC-UAEMX), es el único espacio a nivel mundial dedicado a la producción masiva de crías –juveniles y adultos– de esta especie con fines de conservación y liberación en áreas controladas. Este centro, se encuentra ubicado en el Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, en municipio de Xochimilco, Ciudad de México, que por la calidad del agua y ambiente resulta propicia para la propagación del ajolote (Díaz-Méndez, 2016).

Esta labor es apoyada de manera amplia por grupos de chinamperos que son capacitados para el manejo y el aprovechamiento de la especie (Díaz-Méndez, 2016).

Las acciones del CIBAC rindieron frutos en el año 2016 cuando se emprendió una serie de liberaciones con el fin de preservar el *Ambystoma mexicanum* lo que resultó en la generación anual de entre 3,000 y 5,000 individuos (Díaz-Méndez, 2016).

Además de lo anterior, se destaca el papel de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), como es el caso de los santuarios, que son áreas de preservación que se establecen en zonas caracterizadas por una considerable riqueza de flora y fauna o por la presencia de especies o subespecies de distribución restringida. En dichos santuarios, sólo se llevan a cabo actividades de investigación, recreación y educación ambiental. Lo anterior, también favorece a otras especies distintas a las cuales está destinado el santuario, como es el caso del Santuario de la Mariposa Monarca que alberga a *Ambystoma ordinarium* y *A. rivulare* en Michoacán, México (Huacúz-Elías, 2001).



Figura 3. *Ambystoma mexicanum*. Tomado de: naturalista.mx/photos/27258533 (John P. Clare, 2011).



Figura 4. *Ambystoma mexicanum*. Tomado de: colombia.inaturalist.org/photos/8583778 (Pedro Castelán, 2017).

Cuadro 1. Especies de *Ambystoma* endémicas de México

Especie	Hábitat	Distribución	Altitud(metros sobre el nivel del mar)	Categorización de la IUCN*
<i>Ambystoma altamirani</i>	Bosque de coníferas, en cuerpos de agua como arroyos o pequeños ríos.	Ciudad de México y Estado de México.	2700-3600	EN
<i>Ambystoma amblycephalum</i>	Zonas de mezquital-pastizal y en bosque de pino encino.	Guajuato, Guerrero; Jalisco y Michoacán.	2000-2130	CR
<i>Ambystoma andersoni</i>	Hábitat restringido a la Laguna de Zacapu (Michoacán), la cual presenta remanentes de bosque pino-encino, pastizal inducido, rodeado de zona urbana.	Michoacán (Laguna de Zacapu)	1980	CR
<i>Ambystoma bombypellum</i>	Pastizales naturales y bosques de pino-encino.	Estado de México.	>2500	CR
<i>Ambystoma dumerilii</i>	Lago de Pátzcuaro	Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México.	2035	CR
<i>Ambystoma flavipiperatum</i>	Matorral desértico.	Jalisco, Sierra de Quila.	1494-2400	DD
<i>Ambystoma granulosum</i>	Pastizales, praderas, humedales y estanques.	Estado de Méxcio	3000	CR
<i>Ambystoma leorae</i>	Pozas aledañas a riachuelos, en zonas ubicadas en bosque de oyamel.	Límite de los estados de México y Puebla.	3100	CR
<i>Ambystoma lermaense</i>	Márgenes de cuerpos residuales de la Laguna de Lerma y en los canales de riego alimentados por la misma.	Estado de México	2800-3000	CR
<i>Ambystoma mexicanum</i>	Esta especie habita en los lagos de Xochimilco, Tlahuac y Chalco.	Ciudad de México y Estado de México	2250	CR
<i>Ambystoma ordinarium</i>	Arroyos o manantiales de montaña en bosques de oyamel, pino y pino -encino.	Michoacán	2200	EN

*Categorías establecidas en la Lista Roja de la UICN para las especies endémicas de *Ambystoma* en México: En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN), Preocupación Menor (LC) y Datos Insuficientes (DD).

Especie	Hábitat	Distribución	Altitud(metros sobre el nivel del mar)	Categorización de la IUCN*
<i>Ambystoma rivulare</i>	Cuerpos de agua lóticos, en zonas de bosque de oyamel, bosque de pino y bosque de pino-encino.	Estado de México y Michoacán.	2800	DD
<i>Ambystoma rosaceum</i>	Bosque de pino/ pino-encino, bosque de abetos, pastizales en elevaciones altas. y arroyos y pozas artificiales.	Sonora, Zacatecas, Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit y Sinaloa.	1000-3110	LC
<i>Ambystoma silvense</i>	Pastizal de montaña y zonas de agua aisladas y carentes de peces.	Algunas localidades en la vertiente oriental de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua.	2080-2660	DD
<i>Ambystoma subsalsum</i>	Laguna de Alchichua, Puebla.	Altas elevaciones de Durango, Zacatecas y Puebla.	2350	NE
<i>Ambystoma taylori</i>	Aguas salobres profundas de la Laguna de Alchichica, Puebla.	Puebla (Laguna de Achichica)	2290	CR
<i>Ambystoma velasci</i>	Bosque de pino y pino-encino, en cuerpos de agua como lagos, charcos de aguas estacionales o ríos.	Puebla, Ciudad de México. Tlaxcala, Chihuahua, Nuevo León, Colima, Querétaro, San Luis Potosí, Morelos y Estado de México.	2700-3600	LC

*Categorías establecidas en la Lista Roja de la UICN para las especies endémicas de *Ambystoma* en México: En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN), Preocupación Menor (LC) y Datos Insuficientes (DD).

Conclusiones

Las especies con distribuciones restringidas (microendémicas) son vulnerables a la extinción, y la modificación de los hábitats naturales dentro de sus pequeños rangos, es la amenaza principal para su conservación en tiempo y espacio (Recuero et al., 2010). En este sentido, los factores de declinación en las especies de *Ambystoma* en México, son varios y se pueden clasificar en: destrucción y modificación del hábitat (deforestación, desarrollo urbano, azolve y canalización de ríos y arroyos), contaminación (descarga de aguas negras, resúdales y domésticas y de desechos sólidos), introducción de especies exóticas (competencia trófica y depredación) y recolección captura y explotación. No obstante, la desecación del ambiente de las especies *Ambystoma*, debido al uso de agua para actividades humanas, es el factor principal factor que afecta a sus poblaciones. (Huacúz-Elías, 2001). Por ello, casi todas las especies de *Ambystoma* que habitan en México, se encuentran en alguna categoría de riesgo de extinción de acuerdo a la IUCN y bajo la protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

A pesar de los esfuerzos por la conservación *in situ*, tales como la creación de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAs) y Áreas Naturales Protegidas (ANP), así como los proyectos de conservación *ex situ* emprendidos por parte de diferentes instituciones educativas, no se ha logrado una plena conservación de las especies de *Ambystoma* en México. La problemática ambiental que estas especies enfrentan, es acentuada por la destrucción y contaminación del ambiente en que viven. Esto ha dado pie a que organizaciones, como la IUCN y el CITES hayan fijado su atención sobre

las mismas. No obstante, la carencia de datos sobre historias de vida, fisiología, toxicología, genética, ecología, entre otras características de las especies, hace todavía más difícil dilucidar la situación real de las poblaciones de las mismas. Por ello, es conveniente redoblar esfuerzos en las acciones emprendidas hasta la fecha, y a su vez, desarrollar otras que garanticen resultados a mediano y largo plazo para tener un conocimiento integral de estas especies, para esto, se debe trabajar en la recuperación de los hábitats y cuidar los ecosistemas en que se distribuyen.

Referencias

- CITES. 2017. Apéndices I, II y III en vigor a partir del 4 de octubre de 2017. cites.org/sites/default/files/esp/app/2017/S-Appendices-2017-10-04.pdf
- Díaz-Méndez, D.A. (ed.). 2016. Semanario de la UAM. Órgano informativo de la Universidad Autónoma Metropolitana. Vol. XXII, Número 24. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México. 21 p.
- Huacuz-Elias, D. 2001. Estado de Conservación del Género *Ambystoma* en Michoacán, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Morelia, México. 44 p.
- IUCN Red List of Threatened Species (fecha de consulta 20 de diciembre de 2019). Disponible en. www.iucnredlist.org/species/1095/3229615
- Johnson, J. D., L. D. Wilson, Mata-Silva,

V., García-Padilla, E. y De Santis. D. L 2017. The endemic herpetofauna of Mexico: organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology* 4: 544–620.

Lemos-Espinal, J.A. y Smith H.M. 2009. *Anfibios y reptiles del estado de Chihuahua*. CONABIO, Ciudad de México, México. 613 p.

Mena-González, H. y E., Servín-Zamora. 2014. *Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (Ambystoma mexicanum)*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 37 p.

NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial, 10 de julio de 2010.

Recuero, E., J., Cruzado-Cortes, G., Parra-Olea y K. R. Zamudio. 2010. Urban aquatic habitats and conservation of highly endangered species: the case of *Ambystoma mexicanum* (Caudata, Ambystomatidae). *Ann. Zool. Fenn.* 47: 223–238.

Velarde-Mendoza, T. 2012. Importancia Ecológica y Cultural de una Especie Endémica de Ajolote (*Ambystoma dumerilii*) del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. *Et-nobiología* 10 (2): 40-49.

La helicultura como alternativa de desarrollo en México

Lic. Jocelyn Saharaim Corzas Cruz
Facultad de Ciencias Biológicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dra. Sonia Emilia Silva Gómez
DUDESU Instituto de Ciencias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Abstract

'Heliciculture' is the formal name given to snail farming and it's considered as an incipient activity in Mexico besides its potential due to its climatic and topographical conditions, and the fact that there are snail's commercial species already settled down in the country, including the brown garden snail (*Cantareus aspersus*). This article works as a compilation following the next topics: the heliciculture origins and raising methods; snails cycle life, commercial species and its benefits as a food and lime source; recommendations to Mexican farmers in order to enter in the local and international markets.

KeyWords

Snails, Heliciculture, Mexican territory

Palabras Clave

Caracoles, Helicicultura, Territorio mexicano

Panorama general de la producción agrícola en México

Las actividades agrícolas y pecuarias en el país junto con la industria alimentaria realizan la mayor contribución al producto interno bruto del país, estimado en 3.1% y 3.8% respectivamente (El Economista, 2016). Sin embargo, no sólo existe estancamiento del sector agropecuario en México, también falta de financiamiento a pequeños productores, pérdida de competitividad (a causa del poco dinamismo por creación de empleos), aumento gradual de importaciones de productos contenidos en la dieta básica, etc. (Basurto y Escalante, 2012); por ello el fomento a las actividades agropecuarias representaría una alternativa de crecimiento, especialmente para el gremio rural.

Los animales tienen un papel importante en las actividades agrícolas debido a su capacidad para convertir alimentos fibrosos de bajo valor en alimentos u otros sub-productos de alta calidad para consumo humano; son considerados de mayor importancia los bóvidos, porcinos y aves de corral (Villanueva-Orbegoso, 2014). No obstante, existen otros organismos con la misma capacidad y cuya producción permanece incipiente en el país: los caracoles y su producción mediante la helicicultura.

Los caracoles

Mollusca (filó) es uno de los grupos más diversos que existe y se clasifica en siete clases, de ellas las más conocidas son tres: Bivalvia (incluye a las almejas), Cefalópoda (incluye pulpos y calamares) y Gastropoda (incluye caracoles y babosas).

Los caracoles (de forma general) están constituidos fundamentalmente por tres partes claramente diferenciadas: el pie, la cabeza y la masa visceral (situada por encima de la cabeza y del pie, que es donde se concentra la mayor parte de los órganos) encontrándose rodeada por la concha (Figura 1) (Brusca y Brusca, 2005; Villanueva-Orbegoso, 2014)

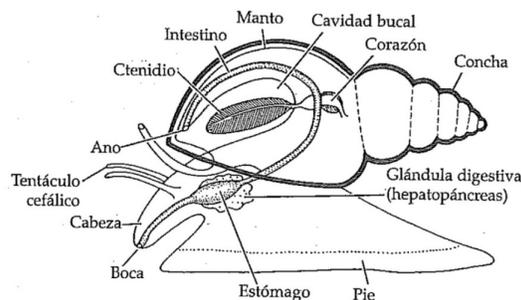


Figura 1. Sección longitudinal de caracol (Clase Gastropoda) En Invertebrados (pp.776) por Brusca y Brust, 2005, España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.

Son animales noctámbulos; durante el día se resguardan del calor y la luz, refugiándose en la sombra o en sectores húmedos del ambiente. Las condiciones óptimas para estos organismos son de 75-90% de humedad relativa y de 15-20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) de temperatura. Su ciclo vital se conforma de tres fases fisiológicas: 1) periodo de actividad (desarrollo y reproducción), efectuado durante la primavera, verano y otoño; 2) periodo de estivación (o diapausa) en el cual el caracol permanece inmóvil dentro del caparazón, reduciendo a un mínimo necesario su metabolismo y las actividades circulatoria y respiratoria, lo llevan a cabo en épocas de calor máximo y regresan a su periodo activo al restablecerse la humedad en el ambiente; 3) periodo de hibernación, consiste en un letargo más pronunciado que la estivación, en el cual el organismo paraliza las funciones digestivas y la frecuencia cardiaca se reduce a 3 contracciones por minuto a 0°C, sobreviviendo a expensas de reservas de glucógeno acumulado en el hepatopáncreas; este proceso sólo se efectúa a causa de las bajas temperaturas invernales y la disminución del fotoperiodo (Villanueva-Orbegoso, 2014; Vera-García, 2016; Arias-Hernández *et al.*, 2007).

Su espectro alimenticio es variado, incluso en individuos de la misma especie, de forma que existen organismos herbívoros, detritívoros, carnívoros e incluso omnívoros. Sin embargo, las especies de importancia comercial coinciden en evitar plantas tratadas con productos químicos o con tricomas (vellosidades en tallos u hojas), prefiriendo alimentos como: verduras (lechuga, repollo, rábano, espinaca, perejil, coliflor, zanahorias, papa, nabo, apio, cebolla), frutos (pepino, tomate, alcachofa, durazno, pera, naranja, ciruelas), hojas de planta, pasto, cereales (avena, trigo, cebada, afrecho), entre otros (Villanueva-Orbegoso, 2014).

Especies de importancia comercial

De las 93 000 especies que existen en el filo Mollusca, 70 000 especies actuales pertenecen a los gastrópodos, y de ellas, 35 000 son gastrópodos terrestres (Brusca y Brusca, 2005; Naranjo-García, 2017).

Hasta hace unos años, el comercio de caracoles solía centrarse en especies pequeñas, principalmente en *Helix pomatia*, sin embargo, se ha reevaluado el consumo de otras especies, destacan los géneros *Helix* y *Achatina*, y las especies que se consideran de mayor importancia actualmente son (Villanueva-Orbegoso, 2014; Instituto de Helicicultura, 2019):

- ***Cantareus aspersus***. (sinónimos: *Helix aspersa*, *Cornu aspersum* o *Cryptomphalus aspersus*). Se conoce comúnmente como “Zigrinata” o “Maruzza” en Italia; en Francia como “Petit-gris” o “Chagriné”; en España como “Caracolas”; en América, específicamente México y Estados Unidos es conocido como “Caracol de jardín”,

“Caracol de tierra” o “Brown Garden Snail”. Solían distribuirse solamente en el continente europeo, no obstante, se ha diseminado internacionalmente y ha logrado asentarse en todos los continentes a excepción de la Antártida, por lo que se le ha atribuido el término “cosmopolita”; actualmente es considerada como plaga en algunos países (México incluido). Su fortaleza radica en su crecimiento temprano, madurez a los doce meses y su alta tasa de reproducción (iniciada a los ocho meses), cada ejemplar de caracol presenta estructuras reproductivas tanto masculinas como femeninas (llamado hermafroditismo) y dependiendo del clima local y la humedad, cada adulto puede dejar hasta 120 huevos viables anualmente (divididos en dos nidadas). Como productos de interés se encuentran: la carne de caracol, la baba de caracol y los huevos (vendidos como ‘materia prima’ para otros criadores). Las variedades más populares de esta especie son: *Helix aspersa Müller*, *Helix aspersa Maxima* y *Helix aspersa Aspersa* (Istituto di Elicoltura, 2019; Tovar-Hernández, 2016; Pimentel, 2015).

- ***Helix pomatia***. Se le conoce como “Vignaiola Bianca” en Italia, “Grosblanc” o “Escargot de Bourgogne” en Francia y “Caracol romano” en México. Se distribuye en zonas alejadas de la costa y tiene la capacidad de adaptarse a diferentes entornos, lo cual ha desencadenado que se desarrollen numerosas variedades en el sur de Italia y en algunas zonas de los apeninos. Fue muy popular entre las granjas de caracoles debido al sabor de la carne, hoy no lo es tanto debido a que se requiere de 2-4 años para la madurez sexual y a que

se encuentra como especie protegida en algunos países europeos (Istituto di Elicoltura, 2019; Snailworld, 2014).

- ***Helix aperta***. (sinónimo: *Cantareus apertus*). Conocido como “Monacella.” en Puglia y “Monzetta.” en Cerdeña. En Italia son comunes en algunas áreas de Liguria y en casi todo el sur de Italia, Sicilia y Cerdeña. En lo que respecta al área mediterránea, puede hallarse en Túnez, Marruecos, Argelia y en las zonas costeras de los antiguos territorios de Yugoslavia y el sur de Francia, donde se les conoce como “Torpado”. En Túnez la cría de caracoles de *Helix aperta* es exitosa y se debe a los bajos costos laborales y a que la recolección se lleva a cabo en la naturaleza en vez de criaderos. Como producto de interés se caracteriza por ser de carne tierna y sólo pueden adquirirse en periodos cálidos, ya que cuando lleva a cabo el proceso de estivación se entierran hasta a 30 cm de profundidad, dificultando la cosecha y el proceso de elección de ejemplares. (Istituto di Elicoltura, 2019).
- ***Achatina fulica***. Es comúnmente llamado “Caracol africano gigante” y se desarrolla de manera óptima en suelos ricos en calcio y, al igual que el caracol de jardín (*C. aspersus*), cuenta con una alta tasa de reproducción; cada individuo puede producir de 80-200 huevos. Su éxito reproductivo ha permitido que se disemine en diferentes zonas, incluyendo las Islas del Pacífico Sur, donde actualmente se produce para fines de consumo. No obstante, el escape de algunos individuos provocó diseminación y proliferación descontrolada en algunos países europeos (Tovar-Hernández,

2016; Istituto di Elicicoltura, 2019).

- ***Theba pisana***. Es una especie comercializada pero no criada en Italia. Se le conoce de diferentes formas en Italia dependiendo de la región; en Veneto se conoce como “Bovoletto”; “Cozzella di campagna” en Campania y Puglia; “CiogaMinudda” en Cerdeña; “Babbaluccio” en Sicilia. Su distribución natural se extiende por toda la cuenca mediterránea y ha sido introducida en otras áreas como el norte de Europa, América del Norte, África, Asia y Australia; en los sitios de introducción ha llegado a considerarse como plaga. Se desarrolla de forma óptima en entornos de dunas, sin embargo, también se ha encontrado en cercanías de los ríos; al igual que la especie *C. aspersus*, puede desarrollarse sin problemas en ambientes antrópicos. No obstante, cuenta con una limitación en su producción, el tamaño del molusco es de 15-20mm, lo que hace que la cría, colección y manipulación de ejemplares se dificulte. El interés comercial radica en el sabor y la rápida cocción (Istituto di Elicicoltura, 2019).
- ***Cerņuella virgata***. Son organismos comunes en la península Ibérica y Crimea. Tienen preferencia hacia los ambientes secos como dunas de arena y matorrales con sustratos calcáreos. Estos organismos se alimentan tanto de vegetación fresca como en descomposición. Al igual que *C. aspersus*, debido a su rápida adaptación y proliferación, se considera como plaga en algunos cultivos en México. (Istituto di Elicicoltura, 2019).
- ***Eobania vermiculata***. En Italia se conocen como “Rigatella” y se distribuyen a lo largo de la Toscana y Lacio. Son

organismos particularmente pequeños, y la producción de este molusco es limitada debido a la dificultad en el proceso de crianza (Istituto di Elicicoltura, 2019).

- ***Otala lactea*** (Sinón. *Helix lactea*). Su nombre se traduce como “caracoles de leche” y son conocidos como “caracoles españoles”. Esta especie puede producir 66 huevos y dos puestas por mes en terrenos de tierra suelta; se adapta a condiciones áridas sin embargo, al igual que el resto de los caracoles, tienen a ser más activos en épocas de lluvia o alta humedad en el ambiente (Istituto di Elicicoltura, 2019).

Aprovechamiento de los caracoles

En los últimos años los caracoles han sido un tema activo, marcando aumentos constantes en el consumo debido a la reevaluación del molusco y sus usos en la gastronomía (carne o conservas), cosmética (cremas reparadoras y bases de cosméticos) e incluso en la industria farmacéutica (Istituto di Elicicoltura, 2019; Vera-García, 2016).

El uso de caracoles como parte de la dieta del hombre se remonta a tiempos prehistóricos, confirmándose con el hallazgo de restos fósiles de moluscos en cavernas de América y Europa. Por su parte, México tiene registros de la época prehispánica donde se mencionan la exhibición de caracoles en mercados como el de Tlatelolco y su uso en la cocina, incluidos métodos de cocción como el asado directo a las brasas o sobre comales de barro (con todo y concha), al vapor y hervidos (a veces acompañado de algunas verduras); entre los platillos preparados

Tabla 1. Comparación nutricional

Alimento	Agua (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Calorías
Carne de res	62.8	18.8	15.4	214
Carne de pollo	68.7	19.1	11	175
Huevo	73.9	13.0	11.1	156
Lenguado	81.5	15.9	2.6	82
Caracol	84.9	13.4-16.3	1.2	67

Construida con datos recuperados de Istituto di Elicicoltura (2019):

<https://www.istitutodielicicoltura.it/it/it/valore-nutrizionale>

destacan tamales de caracol acompañados de salsa patzcal y la presencia específica de caracoles de tierra en banquetes preparados para Moctezuma II de acuerdo con descripciones de Bernal Díaz del Castillo (Brusca y Brusca, 2005; Vera-García, 2016).

Actualmente, la necesidad de las personas por alimentos más ecológicos con buen aporte nutricional y su uso en la comida gourmet coinciden con el crecimiento del consumo de carne de caracol, y resaltan los de jardín. Los caracoles son ricos en proteínas, bajo contenido graso, rico en sales minerales y bajo aporte en calorías. Debido a todas sus propiedades alimenticias (Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3) se considera que pueden formar parte de dietas rigurosas, por ejemplo en casos de hipestrigliceridemia e hipercolesterolemia (Vera-García, 2016; Istituto di Elicicoltura, 2019).

Por otra parte, un subproducto obtenido de los caracoles y que es de importancia comercial, es la secreción producida en el pie del organismo (específicamente en las glándulas suprapedales) conocida comúnmente como limo o baba de caracol; su compleja naturaleza dada debido a las sustancias activas que lo conforman lo hacen un producto único, no replicable en laboratorio (Trapella *et al.*, 2018).

El interés farmacéutico sobre esta materia se dirige hacia la preparación de productos destinados al uso tópico y la formulación de tratamientos médicos para tratamiento y prevención de enfermedades bronquiales y gástricas, pues su efectividad se remonta a la antigua Grecia, donde se usaba tradicionalmente con fines terapéuticos: tratamiento de úlceras pépticas, gastritis y tos (en forma de jarabe); quemaduras e irritaciones en la piel (Istituto di Elicicoltura, 2019; Bonnemain, 2005).

Más recientemente, el uso de la baba de caracol se ha concentrado en el uso cosmético, especialmente tras las observaciones realizadas por una familia chilena en 1980, quienes se percataron de que al manipular caracoles de jardín (*C. aspersus*) desarrollaban suavidad en sus manos y que las pequeñas heridas halladas en ellas sanaban rápidamente. Desde entonces se han realizado estudios científicos sobre los constituyentes y la capacidad regenerativa (Tutton, 2017).

Gracias a los numerosos análisis cualitativos y cuantitativos realizados en baba de caracol, ha sido posible identificar y determinar los elementos constitutivos y específicos presentes. Hoy se sabe que además de la capacidad regenerativa, la de

Tabla 2. Oligoelementos en los caracoles y sus proporciones

Composición por cada 100g de porción comestible	
	Valor (mg)
Potasio	382
Fósforo	272
Magnesio	250
Calcio	140
Sodio	70
Hierro	10.6
Zinc	4.4
Selenio	0.027

Recuperado y adaptado de Vera-García, 2016 (p.5).

baba de caracol cuenta con propiedades hidratantes, purificantes y protectoras, y su uso suele centrar en la mejora de imperfecciones en la piel como cicatrices, estrías, manchas, arrugas y acné. Estas propiedades han sido conferidas debido al contenido de numerosos constituyentes: alantoína, ácido glicólico, colágeno, elastina, ácido láctico exfoliante, mucopolisacáridos (GAGs sulfatados y no sulfatados); vitaminas A, C, E, B1 y B6; aminoácidos libres, péptidos, proteínas, enzimas, moléculas con acción antiproteasa (Istituto di Elicicoltura, 2019; Trapella *et al.*, 2018; Tutton, 2017; Villanueva-Orbego, 2014).

Hasta hace poco, solía considerarse que la efectividad de esta materia radicaba en la acción sinérgica de todos sus componentes; posteriormente el efecto se atribuyó exclusivamente al ácido glicólico, colágeno y a la elastina. No obstante, un estudio más reciente realizado por Trapella *et al.*, 2018 a partir de un complejo purificado de baba de caracol al que denominaron “Helix Complex”, comprobaron la baja cantidad de ácido glicólico y alantoína en la baba de cara-

Tabla 3. Vitaminas presentes en los caracoles y sus proporciones

Composición por cada 100g de porción comestible	
	Valor (mg)
Niacina (Vitamina B3)	41
Folatos (Vitamina B9)	6
Vitamina E	0.8
Tiamina (Vitamina B1)	0.04
Riboflavina (Vitamina B2)	0.014
Vitamina B6	0.0001

Recuperado y adaptado de Vera-García, 2016 (p.5).

col, afirmando que estos no son tan esenciales como se pensaba. Por otra parte, demostraron (por primera vez) la eficiencia en la “pro-supervivencia”, “pro-proliferación” y “pro-migración” de los fibroblastos (células productoras de colágeno y elastina en nuestro cuerpo) favorecida por la citoquina IL-8 hallada en el extracto ‘Helix Complex’.

Helicoltura

La helicoltura es la crianza de caracoles en cautiverio con fines comerciales; el término

proviene de dos vocablos: *helici*, derivado del griego *élice* (que hace referencia a la concha helicoidal del caracol *Helix*); y *cultura*, derivado del latín *cultus* (y se traduce como *cultivo*) (INES, 2018; Pimentel, 2015; Snailworld, 2014).

La helicoltura tuvo su origen en Italia y las primeras prácticas se remontan a la época romana, donde para evitar que los organismos se dispersaran, eran criados en islas artificiales: cercaban una porción de terreno con una zanja llena de agua para impedir que los caracoles escapasen y posteriormente arrojaban alimentos a la isla (Istituto di Elicicoltura, 2019; INES,

2018; Pimentel, 2015; Snailworld, 2014; Arias-Hernández *et al.*, 2007).

Originalmente los caracoles se conseguían mediante la recolección; no obstante, esta actividad ha perdido fuerza debido a la baja disposición de moluscos silvestres a causa de actividades como: la rotación de cultivos -que ha ido reemplazando progresivamente la agricultura pastoral y tradicional-, el tiempo de cosecha anual limitado; en la actualidad, estos actores están aunados al crecimiento de las ciudades y al uso indiscriminado de químicos y pesticidas en los campos (Istituto di Elicicoltura, 2019; Vera-García, 2016; Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008; Arias-Hernández *et al.*, 2007).

En países económicamente pobres de Europa del Este, Medio Oriente y África Mediterránea, este tipo de actividad se ve afectada también por los rápidos cambios en las condiciones económicas y políticas; los desórdenes civiles, las consiguientes dificultades en el transporte, los embargos comerciales y sanitarios (Istituto di Elicicoltura, 2019).

Por otra parte, México es considerado como un productor agropecuario potencial para la explotación de esta actividad, y es debido a la diversidad de condiciones que ofrece nuestro país, como la riqueza de sus suelos, disponibilidad de agua, clima y luminosidad solar, otorgándole ventajas competitivas respecto a sus países vecinos (Arias-Hernández *et al.*, 2007; Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008). Esto se ve reflejado en casos de éxito empresarial, por ejemplo: Caracol Helix de México S. A. de C. V -que era la única empresa dedicada a la comercialización de caracoles hasta el año 2007 (Arias-Hernández *et al.*, 2007) -, Sagrimex, Pro Caracol de México y Helixus.

Criaderos

La búsqueda de nuevas alternativas con recursos naturales poco utilizados por la población conduce a experimentar con otros métodos para su obtención (Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008); tal es el caso de la helicultura, que ha pasado de ser de un negocio marginal, poco conocido y arriesgado (debido a la escasez del conocimiento sobre necesidades biológicas y zootécnicas del caracol) a una actividad cada vez más generalizada y popular a nivel mundial, específicamente los últimos veinte años (Istituto di Elicicoltura, 2019).

Dentro de la helicultura existen diferentes métodos de producción y se clasifican dependiendo del autor, sin embargo, de forma general se pueden mencionar tres tipos: 1) criadero de sistema abierto, 2) criadero de sistema cerrado y 3) sistema de crianza mixto.

Criadero de sistema abierto

También llamado 'criadero de ciclo biológico completo', 'criadero extensivo', sistema al aire libre' o 'sistema italiano' (Istituto di Elicicoltura, 2019; Snailworld, 2014).

Consiste en la introducción de caracoles para su apareamiento y multiplicación en recintos especiales. Se caracteriza por llevarse a cabo en un sembradío a campo abierto cercado, constituido preferentemente por vegetales cultivados directamente en el lugar; el cercado perimetral evita el escape de los moluscos, los protege de la entrada de depredadores y divide las diferentes fases del ciclo de los caracoles; la forma de los recintos se ha ido unificando para los sectores de cría y engorde: 45 metros de largo por 3-4 metros de ancho y deben estar divididos por medio de pasajes

desyerbados de 1.15 metros de ancho. Dichas dimensiones evitan que los moluscos se agreguen en un solo sitio mientras que los pasajes facilitan se convierten en áreas de servicio técnico que facilitan la supervisión de áreas, la administración de alimentos y la recolección de moluscos (Roselló-Rodríguez, 2015; Istituto di Elicicoltura, 2019).

Los criaderos de caracoles se han ocupado de tratar de encontrar soluciones que alivien costos en términos de tiempo y cabe destacar que la Asociación Nacional de Helicoltura (A.N.E. por sus siglas en italiano) ha propuesto una innovación en la forma de producción a sistema abierto, denominándolo ‘Método Cherasco’; propone que los moluscos ya no sean trasladados de forma manual desde las zonas de engorde hasta las zonas de reproducción, sino respetando la migración natural de los moluscos (Figura 2), ambas áreas separadas sólo por una red, específicamente una red ‘Helitex (producto patentado) debido a su resistencia a los rayos UV y al limo de caracol; además, cuenta con doble pliegue en función de proteger a los caracoles de aves y otros depredadores (Istituto di Elicicoltura, 2019).

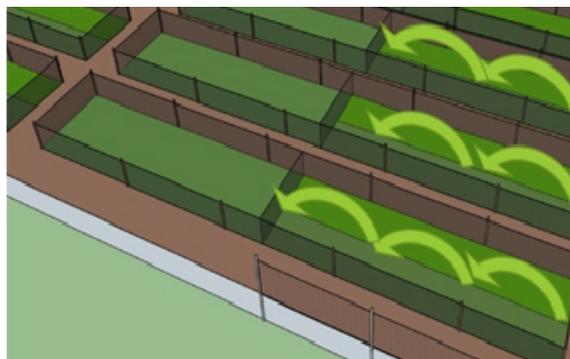


Figura 2 Representación de la migración natural en un recinto de sistema abierto. Obtenida en 2019 desde: <https://www.istitutodielicoltura.it>

jaulas de similares características (Figura 4). El ambiente de estas salas está controlado: temperatura de 18-20°C, 75-90 % de humedad y exposición de doce horas de luz y doce horas de oscuridad. Este tipo de crianza permite la producción en lugares donde las condiciones a campo abierto no son favorables (Roselló-Rodríguez, 2015; Barrios *et al.*, 2001).

Criadero de sistema cerrado

Se le conoce también como cría intensiva, cría intensiva en confinamiento o sistema francés. Consiste en la crianza de caracoles a ciclo completo en habitáculos adaptados, desde la cópula hasta el final del engorde. Se caracteriza por su alto rendimiento debido a la producción de grandes poblaciones en espacios reducidos y al control de variables dentro de los recintos. La explotación se realiza en una nave perfectamente aislada en mesas de cría de planos verticales (Figura 3) o en

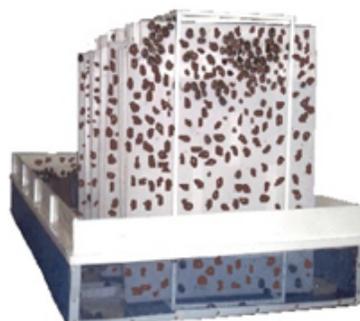


Figura 3. Criadero intensivo. En Estudio de pre-factibilidad. Crianza y comercialización de caracoles terrestres (p.129) por Barrios et al, 2001. Lima, Perú.

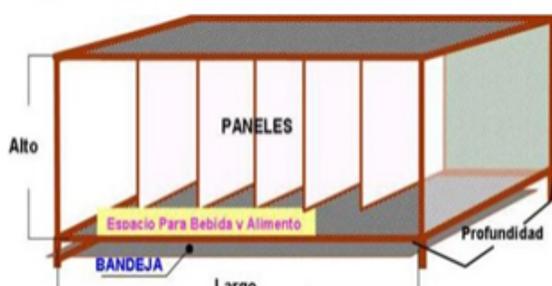


Figura 4. Esquema de jaula utilizada en la cría intensiva de caracoles.

Sistema de crianza mixto

En este tipo de crianza se combinan las técnicas de la producción extensiva y de la producción intensiva: el proceso reproductivo, desove, incubación y la primera fase de crianza se lleva a cabo en local cerrado (climatizado); la segunda fase de crianza y engorde se lleva a cabo en el exterior (sistema abierto) (Roselló-Rodríguez, 2015).

Dirección de productos

Existen diferentes formas de comercializar los caracoles y sus subproductos. Respecto a su uso gastronómico existen las siguientes presentaciones (Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008):

- Caracol vivo: lavados y desinfectados para su comercialización (mayorista, minorista o industrial) y posterior procesamiento.
- Caracol congelado: comercialización *in vivo*, enviados en recintos refrigerados o congelados para su posterior procesamiento
- Caracol enlatado: caracol procesado y envasado con salsas, aceites o licores para su comercialización en restaurantes o consumo final.

Los productores que tienen extensiones territoriales limitadas, suelen optar por

la venta de lotes pequeños -venta en restaurantes- debido a que la cotización en este tipo de venta se coloca entre un 40-50 % más alto que la de los mayoristas. Por otro lado, el precio del producto procesado es diferente y difícil de cuantificar ya que los productos y empaques disponibles en el mercado son -a menudo- comidas preparadas, donde el molusco sólo es responsable de una pequeña parte del peso total (Istituto di Elicicoltura, 2019).

Respecto a la baba de caracol se ha sugerido su comercialización en bruto como insumo o en adición como ingrediente en productos farmacéuticos o cosméticos, sin embargo, debe tomarse en cuenta que la tendencia hacia la adquisición de productos libres del sufrimiento animal va en aumento; se insta a considerar alternativas que permitan la obtención de este producto, por ejemplo: extracción de limo de caracol a través del método MullerOne que consiste en un equipo que utiliza el ozono para la extracción del limo de los moluscos mientras estos no sufren daño biológico de ningún tipo, por lo que los caracoles pueden reinsertarse en los recintos de los que fueron extraídos o venderse tan pronto como salgan de la máquina, ofreciendo la doble alternativa de obtener ingresos de la venta de moluscos y la venta de baba de caracoles. Por otra parte, Trapella *et al.*, 2018 desarrollaron un nuevo método para la extracción y purificación de la baba de caracol con Patente N: 10207000117547, al extracto obtenido del proceso lo denominaron "Helix Complex". Ambos métodos garantizan un extracto de baba de caracol estable, de alta calidad, organoléptica y con bajo porcentaje de patógenos y mohos (por ejemplo: *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus*. confirmado por Pit *et al.*, 2015), haciéndolos métodos eficientes

y alejados de los estimulantes invasivos y estresantes “tradicionales” como el vinagre y la sal. Cabe mencionar que la concentración de los principales componentes de interés puede variar dependiendo del método utilizado (Istituto di Elicicoltura, 2019; Trapella *et al.*, 2018; Bonnemain, 2005).

Las expectativas alrededor de este sub-producto siguen generándose ya que aún no son conocidas en su totalidad todos sus componentes y las propiedades con las que cuenta no han sido explotadas en toda su magnitud, convirtiéndolo en una oportunidad de mediano plazo (Villanueva-Orbegoso, 2014).

Mercado nacional e internacional

A partir de finales del siglo XIX, las cualidades gastronómicas se apreciaron con mayor intensidad; actualmente forman parte de la dieta habitual de los europeos. Por ejemplo, en Italia más del 80% del mercado actual consiste en caracoles vivos, vendidos 15-20 días después de haber sido recogidos, secados y limpiados; en España, esta misma presentación de caracoles ha tenido un aumento estable en su demanda, rondando las 10000 toneladas anuales (cifra interpretada como continuidad comercial). Sin embargo, a pesar de la alta demanda, son pocos los mercados que tienen disponible el producto; esto se atribuye a la falta de negocios comerciales que se dediquen a garantizar el suministro diario.

Por otro lado, Francia acapara el 40% del consumo europeo (y el 60% de la producción mundial), y al igual Suiza y Alemania, consumen 10-12 veces más que en Italia; a diferencia de éste, centran su consumo en caracoles preservados (Istituto di Elicicoltura, 2019).

Son nueve los países que suministran una cantidad significativa del total de caracoles frescos y congelados consumidos a toda Europa: Marruecos participa con el 48%, Hungría 10%, Bulgaria y República Yugoslava 9%, Túnez 6%, Turquía 5%, Rumania 4% y República Checa, Polonia 3% y otros (Argentina, Chile, Perú, Ecuador Colombia, etc.) con el 3% (Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008).

Si empresas mexicanas optaran por introducirse al mercado europeo, tienen que tomar en cuenta a sus principales competidores: Marruecos, China, Japón, Argentina, Brasil, Ecuador, Colombia, Perú y Chile. Respecto al mercado americano (específicamente el centroamericano) se encuentra abastecido por Ecuador, Chile, Brasil, Argentina e Indonesia. Como competidor nacional fuerte se tiene a la empresa Caracol Hélix de México, S.A. de C.V.; este es un grupo de empresarios de Orizaba, Veracruz, comercializan carne de caracol con la marca “Loma Grande” en dos presentaciones: carne precocida y empacada.

Los grandes volúmenes de exportación se dan entre marzo y agosto, y no pueden proveerse las mismas cantidades entre septiembre y febrero debido a la naturaleza del ciclo biológico del caracol, no obstante, existe una equivalencia sustancial en los precios en diferentes estaciones, pues no hay un desequilibrio entre los productos recogidos en verano u otoño y los recogidos en estado de reposo en invierno (Istituto di Elicicoltura, 2019).

Por otro lado, una salida inteligente a los excedentes que no pudieron ser vendidos es la producción de limo de caracol, pues no es solamente un negocio rentable a

nivel nacional, también es exportable y se vende a países como Colombia, Ecuador, Bolivia, etc. (Villanueva-Orbegoso, 2014). La tendencia de uso actualmente se centra en la cosmetología llegando a popularizarse en Estados Unidos, sobre todo en 2017. Por otra parte, en Corea, productos a base de baba de caracol se han expandido desde 2011 y según Alicia Yoon (fundadora de New York based Peach and Lily) los productos de belleza coreanos son los más vendidos. Su éxito es tal que ahora son vendidos por corporaciones como Target y CVS. (Tutton, 2017).

Un ejemplo de este tipo de aprovechamiento es el de la empresa Caracol Unido, que cría caracoles para su exportación, pero también lucra con dos subproductos: los huevos que se venden como ‘materia prima’ a otros productores, y el limo de caracol que se comercializa como aditivo para productos cosméticos; cabe destacar que esta empresa también produce su propia marca de cremas a base de limo de caracol (Villanueva-Orbegoso, 2014).

En 2010, Caracol Unido exportó 200 litros de baba hacia Taiwán y Portugal y produjo para Chile alrededor de 2000 y 4000 unidades de cremas mensuales; por otro lado, la empresa Elicina tiene una línea de productos de belleza hipoalérgicos, y destacan los siguientes: crema para el contorno de ojos, crema nutritiva, crema hidratante (Tutton, 2017; Villanueva-Orbegoso, 2014).

Consideraciones

El poco uso de maquinaria, la posibilidad de utilizar terrenos improductivos y sobre todo el costo bajo de inversión (en comparación con otro tipo de actividades agrícolas) posiciona a la helicicultura como una actividad que podría permitir a los

agricultores aumentar sus ingresos (Istituto di Elicicoltura, 2019; Villanueva-Orbegoso, 2014).

De acuerdo con diversos autores, entre los factores a considerar están:

El contexto geográfico del municipio, dinámica de las actividades agropecuarias, nivel de educación de la población adulta, porcentaje de población indígena y nivel de empleo en el municipio.

Respecto a las especies de importancia comercial, se debe ser cuidadoso al momento de elegir, pues una incorrecta manipulación puede desencadenar una alta proliferación y que posteriormente, sea difícilmente controlada. Es el caso de la especie *Achantia fulica* que al proliferar en demasía en las Islas del Pacífico Sur, se intentó controlar y reducir la población mediante la introducción de otra especie de molusco carnívora, *Euglandina rosea* (conocida como “Caracol Lobo”), esta especie no restringió su espectro alimenticio a la especie *Achantina fulica*, alimentándose también de especies locales del género *Partula*, causando su extinción (Istituto di Elicicoltura, 2019).

Las especies *C. aspersus*, *H. pomatia*, *H. aperta*, *T. pisana*, *E. vermiculata*, son especies introducidas en nuestro país, es decir, su origen se remonta a otros países y fueron introducidas a México de forma intencional (para consumo o venta de ejemplares) o no intencional (organismos escondidos en plantas que han sido importadas); el asentamiento de estas especies en México ha hecho que proliferen de forma descontrolada, convirtiéndose incluso en plaga de diversos cultivos; esta última característica las hace especies

ampliamente disponibles para fines de heliocultura. Por otro lado, especies como *A. fulica*, *C. virgata* y *O. lactea* muestran un amplio espectro de distribución y son consideradas como especies invasivas en diversos países, sin embargo, en México no se cuenta con suficiente información sobre su establecimiento en el país ni sobre su grado de invasividad, por lo que se insta a trabajar con especies ya establecidas y que cuenten con una alta disponibilidad (Naranjo-García y Castillo-Rodríguez, 2017; Tovar-Hernández, 2016; Barker, 2002).

Hernández-Castán (2011) indica que la insipiencia sobre la heliocultura en nuestro país hace difícil la creación de alianzas de producción que permitan acceder a economías de escala; quiénes quisieran dedicarse a esta actividad (sin importar la dirección del producto), requieren como base conocimientos generales de la cadena agroalimentaria involucrada en la producción y comercialización del caracol. A su vez propone la creación de una empresa que aporte un referente estable para generar confianza en el consumidor y facilite la comercialización de este molusco a escala nacional e internacional con las siguientes características: sociedad de responsabilidad limitada (figura de tipo jurídica), nombre, eslogan, misión y visión, estructura organizacional. Se recomienda consultar a especialistas para una mayor eficiencia en el proyecto.

Deben ser tomadas en cuenta las preferencias de consumo de las personas en el tipo de presentación del producto. Se tiene como ejemplo el caso de Grupo Alerlit, S.A. de C.V. con la venta de caracoles enlatados, cuyo éxito a nivel local no fue el esperado a pesar de haber ofrecido el producto a un

precio accesible (\$15 la lata con 250 g). Que un producto no tenga éxito a nivel local no significa que no tenga potencial en mercados extranjeros (Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008).

España presenta una alta demanda de este producto, ya sea in vivo o preservado, aunada a la ventaja del idioma, la baja competencia local, las pocas barreras en su importación, las regulaciones y restricciones no arancelarias, y otros como la posición geográfica que posee (similar a la de México) son factores importantes y benéficos para el producto a exportar, la empresa productora, ya que se favorece el envío de caracoles, incluso en fresco, ya sea por vía aérea o marítima (en contenedores frigoríficos) (Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008; Hernández-Castán 2011).

Debido a que en México no existe una legislación que regule la cría y comercialización de caracoles de tierra – la mayoría de las transacciones suelen ser acuerdos establecidos entre las partes sin formalización de fondo que respalde la operación-, se recomienda que se atienda como marco de referencia a los lineamientos establecidos en otros países productores.

Para facilitar el contacto con demandantes del producto y canalizar la obtención de recursos económicos se recomienda solicitar el apoyo a EURO NAFIN y Secretaría de Economía (Hernández-Castán, 2011; Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008).

Debido a diversas crisis alimentarias se manifestó la necesidad de establecer rigurosos requisitos de higiene y seguridad alimentaria, y están plasmados en el denominado “paquete de higiene”, una serie de reglamentos comunitarios de obligada

aplicación en el conjunto de los Estados Miembros de la Unión Europea, con los que se establecen las disposiciones aplicables en materia de higiene de los alimentos en general.

Los caracoles son un producto identificado la fracción arancelaria 16.05 (Tabla 4); de igual forma se encuentra en la clasificación Internacional de la Unión Europea, también conocida como Código TARIC.

Para exportar caracoles vivos a Europa, se deberá contar con:

- a) Certificado de Origen, donde se señalará país exportador y el establecimiento exportador. Este último deberá tener un número oficial de autorización.
- b) Certificado Sanitario, expedido por las autoridades sanitarias (SENASA), en que incluyan datos completos del embarque, se garantice la aptitud para el consumo humano (esto último en caso que los caracoles vayan a consumo en forma directa). En caso que los caracoles sean enviados para crianza, no será necesario garantizar dicha aptitud, lo cual le corresponderá al establecimiento ubicado en el país de destino.

Además, es necesario conocer las exigencias del país de destino, algunos países europeos

tienen reglamentaciones adicionales:

- Portugal: Licencia de importación.
- Francia: Prohibida la importación de la especie *Hélix láctea*.
- Italia: Certificado sanitario emitido por la autoridad competente del país de origen indicando ausencia de radiactividad.

Diversos autores consideran que no es necesario contar con todo el equipo de primera instancia pero si conforme se logre posicionar el producto y la demanda; recomiendan evitar el enlatado a mano debido a que hace el proceso más lento y no sería capaz de satisfacer la demanda (Cervantes-Caudillo *et al.*,2008).

A pesar de los grandes y recientes hallazgos sobre el limo de caracol, Trapella *et al.*,2018 exhortan a la realización de más experimentos sobre este subproducto con la finalidad de ahondar en los componentes químicos y moléculas que la conforman, y que aún permanecen desconocidos.

Tabla 4. Descripción arancelaria

Sección	IV	Productos de las industrias alimentarias; bebidas, líquidos alcohólicos y vinagre; tabaco y sucedáneos del tabaco elaborado
Capítulo	16	Preparaciones de carne, pescado o de crustáceos, moluscos o demás invertebrados acuáticos
Partida	1605	Crustáceos, moluscos y demás invertebrados acuáticos, preparados o conservados.

Recuperado de Cervantes-Caudillo *et al.*, 2008 p. 40

Bibliografía y lecturas recomendadas

Arias-Hernández, Y., Castillo-Jiménez, I. R., Cornejo-Ojeda, B. Emprendedores: Establecimiento de una empresa de cría de caracoles, con miras a la exportación como producto alimenticio (Proyecto terminal de grado). Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México, 2007.

Barker, J. (2002). *Molluscs as crop pests*. New York, USA: CABI.

Barrios, H.; Davelouis, M.; Llopart, F.; Rilo, F. Estudio de Pre-Factibilidad. Crianza y Comercialización de Caracoles Terrestres (Proyecto de Investigación Gerencial Aplicado). Universidad San Ignacio de Loyola. Escuela de postgrado. Lima, Perú, 2001.

Basurto-Hernández, S. y Escalante-Semerena, R. Impacto de la crisis en el sector agropecuario en México. *Economía UNAM*, 9[25], pp. 51-73, 2012. Recuperado en 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2012000100004&lng=es&tlng=es.

Bonnemain, B. Helix and drugs: snails for western health care from antiquity to the present. *Evidence-based complementary and alternative medicine (Online) ECAM*, 2 [1], pp. 25-28, 2005

Cervantes-Caudillo, K.I.; Gómez-Santamaría A.; Moya-Torres, A.; Romero-Romero, J.M. Plan de negocios de exportación de caracoles enlatados a España para la empresa: “Grupo Alerlit, S.A. de C.V. (Tesis de Grado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Comercio y Administración, Unidad Santo

Tomás, España, 2008.

EL ECONOMISTA. La economía primaria sigue teniendo peso en el PIB de México. 2016. Recuperado en 2020 de: <https://www.economista.com.mx/empresas/La-economia-primaria-sigue-teniendo-peso-en-el-PIB-de-Mexico-20160807-0100.html>

Hernández-Castán, J. Crianza y Comercialización del Caracol *Helix aspersa* en México. (Tesina que para obtener el Grado de Maestro en Agronegocios). Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla, México, 2011.

Istituto di Elicicoltura. Le Specie Commerciali. Cherasco, Italia.: Istituto Internazionale Di Elicicoltura Cherasco. Recuperado en 2019 de: <https://www.istitutodielicicoltura.it/it/en/commercial-species>, 2019

Naranjo-García, E.; Castillo-Rodríguez, Z.G. First inventory of the introduced and invasive mollusks in Mexico. *The Nautilus*, 131[2], pp.107-126, 2017.

Pimentel, J. (2015). Como hacer una granja de caracoles *Helix aspersa* en México. Estado de México, México.: Cría y venta de caracoles en México. Recuperado en agosto de 2019 de: <http://criacaracolesmexico.blogspot.com/2015/04/cria-de-caracol-terrestre-en-mexico.html>

Pitt, S.J.; Graham, M.A.; Dedi, C.G.; Taylor-Harris, P.M.; Gunn, A. Antimicrobial properties of mucus from the brown garden snail *Helix aspersa*. *British Journal of Biomedical Science*, 72, pp.174-181, 2015.

Arequipa, Perú, 2014.

Roselló-Rodríguez, I. Estudio de implantación de una explotación biológica de caracoles (*Helix aspersa*), en Menorca (Tesis de Máster). Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica superior de Orihuela, Elche, España, 2015.

SanilWorld (2014). *Caracol Romano*. Recuperado en agosto de 2019 de: <https://www.snail-world.com/caracol-romano/>

Tovar-Hernández, M.A. Riesgo de introducción de moluscos para acuarismo y mascotas a México. Informe Final, 2016.

Trapella, C.; Rizzo, R.; Gallo, S.; Alogna, A.; Bortolotti, D.; Casciano, F.; Zauli, G.; Secchiero, P.; Voltan, R. HelixComplex snail mucus exhibits pro-survival, proliferative and pro-migration effects on mammalian fibroblasts. *Scientific Reports*, 8, pp.1-10, 2018.

Tutton, M. Americans are putting snail slime on their faces. 2017. Recuperado en noviembre de 2019 de: <https://money.cnn.com/2017/11/13/smallbusiness/snail-cream-beauty-products>

Vera-García, R.E. Microbiología del caracol *Helix aspersa* Müller. Aplicaciones biotecnológicas para su mejoramiento sanitario con impacto en su comercialización (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Barcelona Barcelona, España, 2016.

Villanueva-Orbegoso, V.E. Análisis de la rentabilidad de una inversión privada en la instalación de un criadero de caracol de tierra "*Helix aspersa*", para su exportación a Francia (Tesis de especialidad). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Reconocimiento de lengua de señas como medio para un mundo más inclusivo



M.C. Daniel Sánchez Ruiz
Dr. J. Arturo Olvera López
Dr. Ivan Olmos Pineda

Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Resumen

En el mundo existen diversas discapacidades que de alguna forma presentan dificultades y retos a las personas que las poseen. Una de ellas es la referente a la pérdida de audición o sordera total. Entre los diversos retos con los que tienen que enfrentarse las personas que tienen estas discapacidades, el relacionado con la comunicación con integrantes de la comunidad hablante es uno de los principales. Las personas sordas tienen una lengua con base en señas con la cual pueden comunicar sus sentimientos, ideas o necesidades; sin embargo, dos problemas claves surgen, el primero de ellos es que no todas las personas sordas saben ocupar la lengua de señas y el segundo es que muy pocas personas hablantes saben cómo interpretar las señas pertenecientes a esa lengua, lo cual ha provocado desigualdades en las oportunidades de inserción escolar y laboral para la comunidad sorda, además de generar en muchos casos problemas emocionales. Ante tal problemática los sistemas de reconocimiento de lengua surgen como desarrollos tecnológicos que buscan romper estas barreras de comunicación, en el presente trabajo se proporciona una descripción sobre estas tecnologías, los principales retos vigentes, así como las perspectivas de futuro.

Palabras clave

Reconocimiento de lengua de señas, visión computacional, reconocimiento de patrones, aprendizaje máquina.

Abstract

There are many disabilities in the world that in some way present difficulties and challenges to the people who have them. One of them is hearing loss or total deafness. Among the various challenges that people

with these disabilities must face, the one related to communicate with members of the speaking community is one of the main ones. Deaf people have a sign language with which they can communicate their feelings, ideas, or needs; however, two key problems arise. The first is that not all Deaf people know how to use sign language, and the second is that very few speakers know how to interpret sign language. Faced with such problems, language recognition systems emerge as technological developments that seek to break down these communication barriers. This paper provides a description of these technologies, the main current challenges, as well as future prospects.

Keywords

Sign language recognition, computer vision, pattern recognition, machine learning.

Introducción

A manera de preámbulo, considérese la siguiente situación: “Imagina que quieres ir a la tienda y comprar algo de comer, llegas y pides lo que quieres (al menos eso crees tú), sin embargo, el tendero no escucha nada, por alguna razón has perdido tu voz, él no puede escucharte y sólo ve cómo mueves tu boca y tus manos; después de muchas dificultades logras señalarle lo que quieres y logras obtener lo que querías. Después llegas a tu casa y le quieres contar a tus padres lo que sucedió, pero no puedes, pues no emites sonido alguno y aunque tienes la mente llena de ideas y de lo que quieres comunicar, sigue sin salir sonido alguno de tu boca. Atónito por lo sucedido recuerdas que tienes clase en línea, te apresuras a conectarte y prestar atención al contenido que verás ese día, al final de la clase te surge una duda, pero recuerdas que no puedes expresarla debido a tu pérdida de voz y te resignas a no hacer nada”.

Toda esta situación es sorprendente pero principalmente atemorizante, nunca hasta ese día te habías percatado de lo importante que era tener una voz y ser escuchado. Esta situación ocurre en millones de personas en el mundo, estas personas pertenecen a la comunidad sorda y son víctimas de esas dificultades, frustraciones y resignación.

De acuerdo con la organización mundial de los sordos, actualmente existen 466 millones de personas que son sordas o tienen pérdida de audición de forma parcial a lo largo del mundo (World Health Organization: WHO, 2019). En México en el año 2010 según datos del INEGI obtenidos en el censo de población y vivienda, se identificó que 498,640 personas tenían limitantes de forma parcial o total en actividades relacionadas con la escucha (INEGI, 2010). La discapacidad auditiva se refiere a la pérdida de la audición o la reducción de la habilidad para oír claramente (hipoacusia) y puede variar desde la más superficial hasta la más profunda, a la que comúnmente se le llama sordera (DIF, 2017). La mayor parte de las personas sordas lo fueron hasta la edad avanzada, debido al deterioro físico del órgano del oído, situación ocurrida debido al envejecimiento, pero 30 por ciento, una cifra nada despreciable, corresponde a menores de 29 años. En este caso, la principal causa que origina esta discapacidad, son problemas en torno al nacimiento, una buena parte de los cuales pudieron prevenirse con un buen control prenatal y/o una oportuna y adecuada atención en el parto (López Pérez et al., 2014).

Lamentablemente dentro de las muchas cosas con las que tienen que lidiar los integrantes de la comunidad sorda es que suelen ser víctimas de diversos actos discrimi-

inatorios, siendo de los más recurrentes aquellos que derivan de las limitaciones para comunicarse e interactuar con el resto de la población hablante. No saber leer ni escribir aumenta la vulnerabilidad de la persona y aunado a la discapacidad auditiva, supone una barrera mayor para la comunicación e interacción con el entorno. La discriminación de la comunidad sorda por problemas de comunicación, propicia problemas de inserción escolar, laboral, social, así como problemas emocionales.

La lengua de señas es el medio que ocupan las personas sordas para comunicarse, la cual surgió debido a la necesidad natural que tiene toda persona de ser escuchado. No es una lengua universal, cada país tiene su propia lengua, en el caso de México se conoce como Lengua de Señas Mexicana (LSM). De acuerdo con la *Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad* (Naciones Unidas, 2015), los individuos con sordera deben contar con acceso a su enseñanza como derecho básico, no obstante, esta situación no siempre se cumple ni es prioridad en los distintos gabinetes de gobernación a lo largo del mundo. Además, dejando de lado este punto crítico de que no toda persona sorda tiene acceso a la educación en la lengua de señas, otro problema grave es el de que pocas personas que pertenecen a la comunidad hablante saben interpretar correctamente alguna lengua de señas, propiciando brechas de comunicación entre ambas comunidades.

Por estas razones es de vital importancia el desarrollo de sistemas de reconocimiento de lengua de señas, ya que pueden ayudar a romper las brechas de comunicación existentes y así poder construir un mundo más incluyente. Estos sistemas tienen como

propósito ser un traductor entre ambas comunidades, siendo capaces de traducir lengua de señas a un texto de algún idioma hablado y a la inversa. Sólo basta pensar en algunas situaciones donde estos sistemas podrían ser usados para ver su importancia: en un módulo de atención de tramites gubernamentales o turísticos, en reuniones de negocios, en el supermercado o farmacia a la hora de hacer compras, en un juzgado para poder levantar una denuncia, o inclusive a la hora de querer comunicar sentimientos afectivos hacia una persona, prácticamente en cualquier situación que requiera de interacción humana estos sistemas serian de gran utilidad para que los miembros de la comunidad sorda puedan ser entendidos por miembros de la comunidad hablante, situación de la cual están privadas la mayoría de las personas de la comunidad sorda. En este punto debes de tener muchas preguntas como: ¿Qué es la lengua de señas y cuáles son sus principales componentes? ¿Cómo son los sistemas de reconocimiento de lengua que se buscan desarrollar? ¿Por qué aún no existe un sistema fiable a pesar de todos los avances tecnológicos? Las respuestas a estas dudas y más buscaran ser respondidas en las siguientes secciones.

Lengua de Señas

Para que un sistema de reconocimiento de lengua de señas funcione correctamente es necesario comprender en primera instancia qué es una la lengua de señas, cuáles son sus puntos clave y qué características tiene. La lengua de señas es la lengua utilizada por las comunidades de sordos para resolver sus situaciones comunicativas, consiste en una serie de signos gestuales articulados con las manos y acompañados de expresiones faciales, mirada intencional y movimiento corporal, dotados de función lingüística,

forma parte del patrimonio lingüístico de dicha comunidad y es tan rica y compleja en gramática y vocabulario como cualquier lengua hablada (DIF, 2017). Cada seña tiene gestos, expresiones faciales o movimientos de cuerpo específicos, lo cual se conoce como configuración de seña. Dentro de la LSM existe una gran diversidad, esto se debe a distintos factores como lo son: la región geográfica de la zona del país, modalidad histórica y modalidad o variación del sector social. Además de la diversidad que existe entre regiones, de acuerdo con el *manual de lengua de señas mexicana* publicado por el Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia de Puebla (DIF, 2017), otros factores a los cuales se puede atribuir la variación de una lengua de señas son los siguientes:

- Pocos profesionistas capacitados en lengua de señas.
- Falta de contacto entre personas de la comunidad sorda para el uso y difusión de esta.
- La creencia equivocada por parte de algunas instituciones (familia, escuela, religión, etc.) que consideran que las lenguas de señas limitan el desarrollo de la persona con discapacidad.
- El uso de modismos y términos empleados en forma personal, cuyo significado es sólo atribuido por quien la emplea.

Como cualquier otra lengua posee su propio vocabulario, así como un sistema de reglas morfosintácticas, semánticas y pragmáticas. Para el caso de la LSM, esta es muy diferente del lenguaje español, pues las conjugaciones de los verbos son completamente distintas, difieren en el orden de las palabras y disminuyen el uso del verbo ser (DIF, 2017). Además, los

componentes no manuales, como se les considera a las expresiones faciales, movimientos de cabeza, mirada, movimiento de cuerpo o acciones de boca, pueden provocar diferencias de significado, ya sea expresando negación, afirmación, condicionalidad, pensamientos hipotéticos o alternativos o bien denotando tiempo, lugar o causa (Lackner, 2017). Finalmente cabe resaltar que además de todo lo descrito, existen señas muy variadas entre ellas mismas, pues pueden existir de tipo estático, donde se realiza toma una configuración y no es necesario realizar ningún movimiento extra, o de tipo dinámico donde una seña puede necesitar más de una configuración para poderse transmitir de forma correcta.

Reconocimiento de lengua de señas mediante sistemas computacionales

Una vez que conocemos de forma básica las características principales de la lengua de señas la siguiente tarea es ocupar esta información para desarrollar sistemas computacionales que nos ayuden a reconocerla de forma automática. Aquí es donde la visión computacional nos puede ayudar, la visión computacional es un área de estudio dentro de las ciencias computacionales que trata de emular de alguna forma el mecanismo que tenemos los humanos para identificar objetos y su posición, sólo que a diferencia de los humanos que realizan estas actividades mediante la vista y el cerebro, la visión computacional lo realiza a través de imágenes o videos digitales adquiridos a través de algún dispositivo (cámara, Kinect, celular, etc.) y técnicas computacionales (Sucar y Gómez, 2011).

Todo esto se puede lograr porque una imagen digital está compuesta de unidades básicas llamadas pixeles, los cuales tienen

valores referentes al color e intensidad de estos como se aprecia en la Figura 1, de esta forma las técnicas computacionales ocupan esta información para hacer operaciones de mejora de calidad de imagen, de reconocimiento y seguimiento de objetos. Las aplicaciones que se pueden desarrollar haciendo uso de la visión computacional van desde la medicina hasta la robótica industrial, por ejemplo, para el caso de la medicina el procesamiento de imágenes digitales que son referentes a diversos estudios como microscopias, radiografías, ultrasonidos o resonancias magnéticas ayudan a realizar mejores diagnósticos o fungir como herramienta de evaluación en etapas de rehabilitación mediante el reconocimiento de patrones; en la robótica industrial ayuda en tareas de producción y revisión de calidad, en aplicaciones militares ayuda en operaciones de reconocimiento de objetivos o más recientemente en el desarrollo de los autos autónomos, las técnicas de visión computacional ayudan a la detección de objetos o personas en la carretera; como puede apreciarse el área de visión computacional tiene diversas aplicaciones.

De igual forma, para el problema del reconocimiento de lengua de señas, la visión computacional nos puede ayudar, ya que buscamos identificar y reconocer señas y asociarlas a una palabra o palabras pertenecientes a un lenguaje hablado. Para ello es vital primero definir cómo se van a obtener las imágenes o videos referentes a las personas encargadas de gesticular las señas de una lengua de señas (señantes), para después definir qué características vamos a extraer y cómo lo vamos a realizar.

En un sistema de visión computacional es necesario definir cómo se van a adquirir

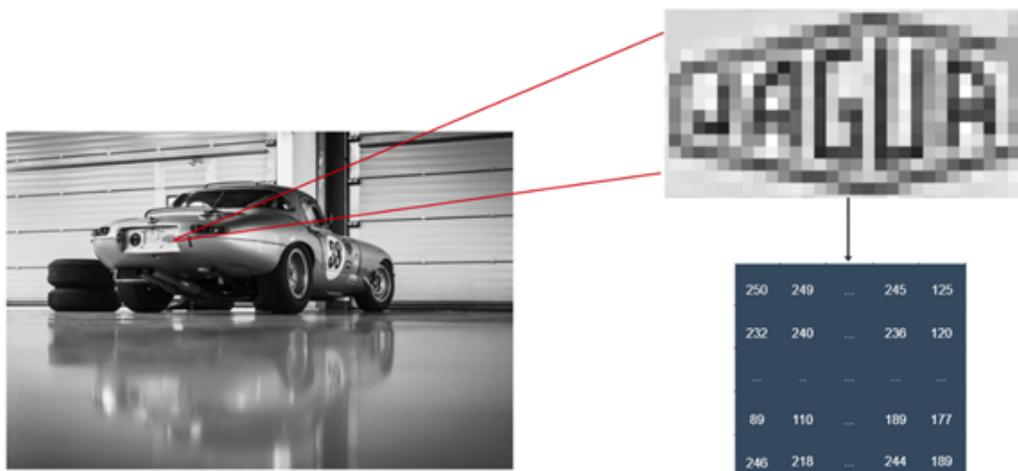


Figura 1. Acercamiento en una imagen para apreciar detalle a nivel de píxel y los valores de color asociados al mismo. *Nota.* Fuente de imagen original: Adams, 2015 con licencia CC 2.0.

los datos de entrada y a través de qué dispositivo. En los avances realizados hasta el momento algunos investigadores han explorado la toma de datos mediante el uso de guantes que tienen sensores y otros componentes que pueden disponerse en las regiones de los brazos o en la región de la cabeza a través de algún casco (Elakkiya, 2020); dentro de estos mismos enfoques también se ha ocupado el sensor Leap Motion o el Camboard que sirven para capturar los movimientos de la región de la mano así como para realizar el seguimiento de la misma; todos estos sensores capturan datos relacionados con la posición y movimiento de la región donde estén colocados. Generalmente los sistemas que se basan en el uso de sensores se combinan también con la adquisición de datos con base a algún dispositivo de visión, razón por la cual también se consideran como sistemas de visión computacional. Otro enfoque que han ocupado otros investigadores es la captura mediante dispositivos basados en la visión, para ello se hace la captura de imágenes o videos a través de cámaras comerciales o dispositivos como el Kinect, que a parte

de la imagen o video, proporcionan información de profundidad, es decir estiman qué tan lejos se encuentran los objetos del dispositivo, este dispositivo también genera un esqueleto artificial para representar las articulaciones del cuerpo (Elakkiya, 2020). Los datos que se van a capturar para los sistemas de reconocimiento de lengua de señas serán aquellos donde un señante este gesticulando una o varias señas frente a una cámara, o los capturados mediante guantes o componentes que dispongan de sensores.

Los sistemas de visión computacional se suelen componer de las etapas que se muestran en la Figura 2. En la etapa de preprocesamiento es común realizar operaciones que buscan mejorar la calidad de la imagen, esto es clave pues la captura de los datos de entrada no siempre puede ser en un formato de alta calidad. Sin embargo, esta etapa es opcional y en muchos casos no se realiza.

La siguiente etapa es la de la segmentación, en esta etapa se suelen identificar qué regiones de las que están presentes en las



Figura 2. Etapas en los sistemas de visión computacional. *Nota.* Fuente: Propia.

imágenes o videos son las que contienen la información más relevante para el problema que se busca resolver para después aislarlas de forma manual o automática del resto de la imagen. Para el caso de los sistemas de reconocimiento de lengua de señas, basándonos en el conocimiento que ya tenemos sobre las características principales de las lenguas de señas, sabemos que las regiones que más nos interesaría analizar son las pertenecientes a las zonas de las manos, cabeza, boca, ojos y postura del cuerpo.

Posteriormente en la etapa de extracción de características, con base en regiones de interés que se han aislado y mediante distintas técnicas matemáticas se procede a extraer información que sea relevante y que funja como un descriptor que sea lo más diferenciable entre los distintos datos, que para este caso vienen siendo las

distintas señas que estén presentes en el conjunto de datos de entrada. Para realizar esto, la información suele extraerse con base a los componentes manuales y no manuales que están presentes en la lengua de señas. Los descriptores basados en los componentes manuales suelen centrarse en información referente a la forma de la mano, ángulos de inclinación del puño, así como la posición y la trayectoria de esta, que son calculados mediante la aplicación de conceptos de algebra, calculo y algebra lineal (Elakkiya, 2020). Para el caso de los componentes no manuales aun no se ha hecho un estudio profundo, sin embargo, en los estudios iniciales que si los han tomado en cuenta también se ha extraído información relevante de forma similar a los componentes manuales, es decir, mediante la aplicación de los mismos conceptos matemáticos, sólo que en este

caso con respecto a la expresiones faciales, que suelen ser representadas por una malla que se componen de diversos puntos a lo largo del rostro, también con respecto al ángulo de rotación de rostro con respecto del dispositivo de captura o de la pose del cuerpo, que también suele estimarse a través de puntos que representan las articulaciones del cuerpo (Elakkiya, 2020).

Finalmente, con toda la información calculada y recolectada, mediante el uso de técnicas de reconocimiento de patrones fundados en conceptos matemáticos relacionados al cálculo, algebra, probabilidad y estadística, se toman las características extraídas como datos de entrada y se procede a generar un modelo que busca agrupar las señas que tengan el mismo significado a través de sus características, ya que estas van a ser iguales o muy similares para las mismas señas, ayudándonos a crear un modelo discriminatorio entre la distintas señas. A través de este modelo de reconocimiento de patrones, los sistemas de visión computacional “aprenden” con respecto a un conjunto de datos y una vez que reciben datos sobre señas nuevas, el sistema buscara reconocer sus patrones y dar una predicción sobre lo que piensa es el significado más probable. Así es como de forma básica funciona un sistema de reconocimiento de lengua de señas basado en técnicas de visión computacional y reconocimiento de patrones.

Ejemplos de sistemas actuales

Afortunadamente cada vez es más notorio desarrollo e investigación en el tema de reconocer lengua de señas a través de sistemas computacionales, prueba de esto es que en la actualidad ya se pueden encontrar desarrollos tecnológicos de forma accesible

y comercial. Algunos ejemplos de sistemas que ya se han comercializado para su uso son los siguientes:

- SignAll (SignAll, 2020). Sistema de reconocimiento de lengua de señas americana. Toma imágenes como datos de entrada y realiza la traducción a un texto del idioma inglés. Para realizar esta traducción analiza expresiones faciales, movimiento y posición de cuerpo además la forma de la mano y los dedos a través de un guante con sensores.
- Signtel Interpreter (Signtel Inc, 2016). Sistema que con base al reconocimiento de voz y de textos hace la traducción a la lengua de señas. Este sistema traduce correctamente un vocabulario de 30,000 palabras del idioma ingles a la lengua de señas americana.

Como se aprecia en los ejemplos aún no hay un sistema que englobe ambas traducciones, tanto de lengua de señas a un idioma hablado como a la inversa, además de que cada uno de ellos tiene sus limitantes con la tecnología que existe hasta el momento, esto se debe a que aún existen retos por resolver. A continuación, se presentarán los retos más importantes.

Retos por resolver

A pesar de que en la actualidad ya han sido desarrollados sistemas de reconocimiento de lengua de señas que obtienen resultados bastantes prometedores, aún existen varios retos que restan por resolverse para tener un sistema aún más completo y que sea capaz de funcionar correctamente en cualquier tipo de situación, que sea económico y que no sea invasivo con ningún miembro tanto de la comunidad sorda como de la comunidad hablante, a continuación se van a mencionar algunos de los retos más

importantes que deben de solucionarse en los próximos años.

Como se mencionó anteriormente, existen diversos dispositivos que se ocupan para adquirir datos, desde los que están basados en visión hasta los que ocupan guantes y sensores, para cada uno de ellos existen retos. Los que están basados en visión aún no son capaces de funcionar en cualquier escenario, la mayoría de las investigaciones suelen funcionar en escenarios controlados que suelen tener un color de fondo del cuarto previamente definido y en algunos casos también se define de forma previa el color de la ropa de los señantes, además de esto en la mayoría de los desarrollos existentes sólo hay un señante por video o imagen, por lo cual es necesario desarrollar sistemas que sean capaces de funcionar ante la presencia de más de un señante y bajo cualquier condición de color de fondo, de iluminación o de color de ropa de los señantes.

Los sistemas basados en visión también pueden identificar erróneamente algunas señas que involucren movimientos de las manos enfrente de la región de la cabeza, obstaculizando la visibilidad de las expresiones faciales, mirada o acciones de boca que como se ha detallado son relevantes, situación que representa un reto por resolver en la actualidad. Por otro lado, los sistemas que están basados en guantes y sensores enfrentan retos más orientados a costos y usabilidad, dado que algunos de ellos aún son costosos en la actualidad, sin embargo, el mayor problema es que presentan incomodidad para los usuarios en muchos casos. Además de ello, la mayoría de estos sistemas propone que quien use estos dispositivos sea la persona de la comunidad sorda, situación que genera un

sentimiento de desigualdad, pues al tratar de generar un canal de comunicación entre comunidad sorda y comunidad hablante, los únicos que deben de aprender el uso de los dispositivos y que tienen que lidiar con la incomodidad o costos de los mismos son los pertenecientes a la comunidad sorda, así que estos sistemas deben de resolver retos relacionados con desarrollo de hardware económico, ergonómico y equitativo para ambas comunidades.

Los sistemas desarrollados con base a la visión computacional tienen mejores resultados cuando se tienen mayores cantidades de datos respecto a lo que se quiere reconocer, en el caso de la lengua de señas, los datos de los que disponemos aún son limitados, por lo cual un esfuerzo que necesita realizarse es el de la captura de un conjunto de datos amplios y variado, principalmente en la presencia de múltiples señantes, en distintos escenarios, en situaciones de charlas cotidianas y donde el vocabulario presente sea amplio.

Finalmente, aún existen retos relacionados a la identificación de las señas, algunos de ellos tienen que ver con la identificación correcta entre el fin de una seña y el inicio de la siguiente, problema de gran importancia para poder separar una oración en palabras y dividir el problema en problemas más pequeños; por otro lado como se ha visto la gramática de la lengua de señas es muy compleja, tenemos componentes manuales y no manuales y aunque tenemos una idea de cómo funcionan, aún no se ha definido un conjunto de características basadas en estos componentes que encapsulen de forma completa cada seña, ya que de momento aún existen casos donde es imposible distinguir entre señas similares, es decir tienen que proponerse

características de nivel fino para realizar un reconocimiento correcto. La Figura 3 muestra un ejemplo de cómo es de compleja la lengua de señas y las diversas expresiones, movimientos y configuraciones presentes en un número reducido de señas. Lo único cierto es que las investigaciones cada vez son más completas y mejores por lo cual el desarrollo de un sistema de reconocimiento de lengua de señas que sea funcional se vislumbra de forma optimista para el futuro próximo.

Conclusiones y Perspectivas al Futuro

El problema de comunicación que existe entre la comunidad sorda y la comunidad

hablante es uno que no puede ignorarse y que está muy presente en la sociedad actual, su solución ayudara a crear un mundo más incluyente. Diversas campañas gubernamentales se han llevado a cabo para realizar conciencia sobre este problema, pero hasta el momento faltan acciones que sean más contundentes, por lo que la comunidad científica y algunas iniciativas privadas se han dado a la tarea de mediante la ayuda de desarrollos tecnológicos romper estas barreras de comunicación.

Uno de estos desarrollos tecnológicos es el de los sistemas de reconocimiento de lengua de señas, los cuales permitirían a la comunidad hablante no versada en lengua de señas comprender las ideas, pensamien-



Figura 3. Complejidad de la lengua de señas, donde se muestra que es más que movimientos de manos. *Nota.* Fuente: A. K., 2006 con licencia CC 2.0.

tos y sentimientos de la comunidad sorda y a la inversa. Estos sistemas a pesar de contar con algunos años de desarrollo aún están en sus primeros años de investigación, los resultados obtenidos hasta el momento son prometedores, sin embargo, aún restan varios retos por resolver. El trabajo de los próximos años de los distintos grupos de investigación serán claves en la búsqueda de un sistema de reconocimiento de señas que sea fiable y robusto.

Por último, hay que tener en cuenta que, si bien los desarrollos tecnológicos serán de gran ayuda para crear un mundo más incluyente en el futuro próximo, la inclusión también tiene que ser un proceso que se desarrolle de forma continua e íntima en el interior de cada persona y que se manifieste a través de acciones bondadosas y empáticas con el prójimo.

Referencias

- 1) Adams, D. *Cliff Gray - 1962 Jaguar E-Type (B&W) at the 2015 Silverstone Classic (Photo 2)*. [Fotografía]. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/8521944@N05/20796390466> (2015).
- 2) A. K., G. *Old man (with many hands) teaching Finnish sign language*. [Fotografía]. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/18095953@N00/239241612> (2006).
- 3) DIF. *Manual de lengua de señas mexicana*. Revisado el 24 de octubre de 2020 de: https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/manual_de_lengua_de_senas_mexicana-sistema_municipal_dif_puebla.pdf (2017).
- 4) Elakkiya, R. Machine learning based sign language recognition: a review and its research frontier. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1-20, 2020.
- 5) INEGI. *Discapacidad*. Revisado el 24 de octubre de 2020: <https://www.inegi.org.mx/temas/discapacidad/> (2010).
- 6) Lackner, Andrea. *Understanding the amazing complexity of sign language*. The Conversation. Recuperado el 24 de octubre, de <https://theconversation.com/understanding-the-amazing-complexity-of-sign-language-72813> (2017).
- 7) López Pérez, H. A., Velázquez Lerma, R. y Martínez Corona, D. *Las personas con discapacidad en México, una visión al 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Revisado el 24 de octubre de 2020 de: https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files/_ipo3/2018/44257/4/b202c98e9a2106f4c0f427b64f542c93.pdf (2014).
- 8) Naciones Unidas. *Convención | Disabilities ES*. Revisado da el 24 de octubre de 2020: <https://www.un.org/development/desa/disabilities-es/convencion-sobre-los-derechos-de-las-personas-con-discapacidad-2.html> (2015).
- 9) Shibata, H., Nishimura, H. y Tanaka, H. Basic investigation for improvement of sign language recognition using classification scheme. *International Conference on Human Interface and the Management of Information*, Springer, Cham, pp. 563-574, 2016.

- 10) Shukor, A. Z., Miskon, M. F., Jamaluddin, M. H., bin Ali, F., Asyraf, M. F. y bin Bahar, M. B. A new data glove approach for Malaysian sign language detection. *Procedia Computer Science*, 76, pp. 60-67, 2015.
- 11) SignAll. *Home*. Revisado el 24 de octubre de 2020: <https://www.signall.us/> (2020).
- 12) Signtel Inc. *Signtel Interpreter*. Revisado el 24 de octubre de 2020 de: <https://www.signtelinc.com/signtel-interpreter.html>
- 13) Sucar, L. E. y Gómez, G. *Visión computacional*. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, pp. 1-3, 2011.
- 14) World Health Organization: WHO. *Sordera y pérdida de la audición*. Organización Mundial de la Salud. Revisado 24 de octubre de 2020 de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss> (2020).



El Herbario Metropolitano: 40 años de fecunda labor botánica

M.B. Ivonne Nayeli Gomez Escamilla

M. C. Ana Rosa López Ferrari

Dr. Adolfo Espejo Serna

Herbario Metropolitano Depto. Biología

Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa

Resumen

En este año 2021 el Herbario Metropolitano Ramón Riba y Nava Esparza (UAMIZ), de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa cumple 40 años de arduo trabajo, contribuyendo y apoyando la investigación botánica en México. Con más de 86,000 ejemplares botánicos en su acervo, éstos están disponibles para la consulta, constituye uno de los herbarios más importantes del país. Se presentan datos sobre su fundación y sus aportes al conocimiento de la flora mexicana.

Summary

This year 2021 the Herbario Metropolitano Ramón Riba y Nava Esparza (UAMIZ), Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, celebrate 40 years of contributing and supporting botanical research in Mexico. With more than 86,000 specimens available for consultation, it is one of the most important herbaria of the country. Data about its foundation and contributions to the knowledge of Mexican flora are presented.

Palabras clave

Bromeliaceae, colección científica, ejemplares de herbario, flora mexicana.

Key words

Bromeliaceae, scientific collection, herbarium specimens, Mexican flora.

Los herbarios son una fuente de información de gran importancia en los que se resguardan y conservan, de manera permanente, ejemplares botánicos; son el resultado de innumerables esfuerzos e historias de vida de viajeros y naturalistas que nos permiten consultar los especímenes que fungen como pruebas tangibles de la exploración de los

seres humanos en muy diversos lugares del planeta. Si deseas viajar por los diferentes ecosistemas presentes en el territorio mexicano y conocer un poco de la flora que alberga nuestro país, es indispensable que visites algunos de los herbarios nacionales para que lo logres mediante la revisión de las plantas preservadas en estos santuarios del conocimiento.

¿Qué es un herbario?

Un herbario es una colección científica conformada por ejemplares secos y debidamente herborizados adheridos a una cartulina, que llevan una etiqueta con diversos datos geográficos, morfológicos y ecológicos sobre la planta y su procedencia, y que se encuentran dispuestos de acuerdo con un arreglo particular (Fig. 1).



Fig. 1. Ejemplar de *Artorima erubescens* (Lindl.) Dressler & G. Pollard (Orchidaceae) preservado en la colección del Herbario Metropolitano. Foto: I. N. Gomez-Escamilla

El primer herbario del cual se tiene registro fue formado en 1544 por el italiano Luca

Ghini (1500-1566) y se conserva hasta la fecha en la universidad de Boloña. A partir de entonces este método de preservación de muestras botánicas se popularizó y muchas de las instituciones ligadas a la ciencia empezaron a formarlas y mantenerlas. Los herbarios son colecciones científicas generalmente asociadas a instituciones de educación e investigación, que pueden ser consultadas por cualquier persona interesada en la botánica. En la actualidad existen 2,981 herbarios activos en el mundo (Thiers, 2020). En México contamos con 70 herbarios registrados oficialmente, los cuales albergan en conjunto más de cinco millones de especímenes (5,358,897), siendo la Ciudad de México la que cuenta con el mayor número de colecciones botánicas (9), así como de especímenes botánicos (3,018,975) resguardados. Existen también entidades que no cuentan con dichas colecciones o que habiéndolas, no se encuentran registradas todavía en el Index Herbariorum, como en el caso de Nayarit y Zacatecas (Thiers, 2020).

¿Cómo se inició el Herbario Metropolitano?

El Herbario Metropolitano Ramón Riba y Nava Esparza, de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, inició su formación en 1975 como un apoyo a las labores de investigación que se estaban desarrollando en el Departamento de Biología, por iniciativa del Dr. Ramón Riba (quien fuera el especialista de helechos más reconocido a nivel nacional) (Fig. 2) y de la Dra. Rosaura Grether (especialista en sistemática de leguminosas).

Fue inaugurado oficialmente el 26 de junio de 1981 y en 1983 obtuvo su registro internacional por parte de la Asociación

Internacional de Taxónomos Vegetales (IAPT, siglas en inglés), la cual proporciona un directorio global de herbarios y de su personal asociado, así como un acrónimo, el cual permite reconocer, a nivel internacional, las colecciones registradas en el Index Herbariorum. El acrónimo del Herbario Metropolitano es UAMIZ. Asimismo, a partir de julio de 2003, el Herbario Metropolitano quedó registrado (registro No. D.F.-FLO-148-07-03) en el Padrón de Colecciones Científicas y Museográficas Públicas o Privadas de Especímenes Silvestres, de la Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNAT (López Ferrari y Espejo Serna, 2015).

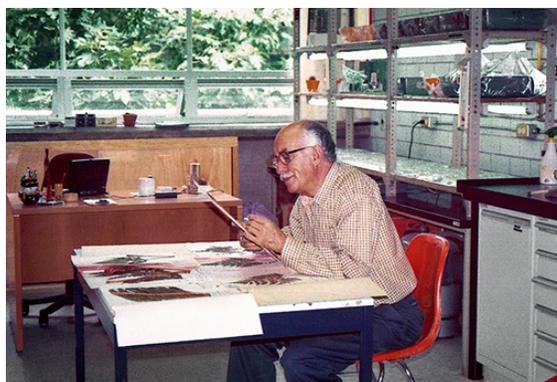


Fig. 2. Dr. Ramón Riba y Nava Esparza (1934-1999), taxónomo especialista de helechos a cuya memoria fue dedicado el Herbario Metropolitano. Foto: A. Mendoza-Ruiz

¿Cuántos especímenes resguarda?

Actualmente, el Herbario UAMIZ cuenta con más de 86,000 ejemplares herborizados de plantas vasculares registrados en el catálogo de registro del herbario, incorporados y disponibles para su consulta. El acervo de esta colección cuenta con una excelente representación de Monocotiledóneas, Leguminosas y Pteridofitas

procedentes de diversas partes del país, algunas especies tienen una representación notable de los estados de Chiapas, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Veracruz.

El herbario también resguarda una importante colección de ejemplares tipo, cercana a los 500 especímenes; este material es de incalculable valor taxonómico ya que rige la correcta aplicación de los nombres de las especies. En 2013 el Herbario Metropolitano firmó, en colaboración con el Instituto de Ecología A. C., Centro Regional del Bajío, un convenio con la Andrew W. Mellon Foundation, para generar imágenes digitales de alta resolución de todos los ejemplares tipo principales (holotipos, isotipos, lectotipos y neotipos) depositados en UAMIZ, de manera que pudieran estar disponibles vía electrónica en JSTOR/Plant Science, a través del proyecto Global Plants, lo cual se ha logrado a partir de junio de 2014 (<http://plants.jstor.org>). Diversos investigadores ligados al herbario UAMIZ han descrito más de 100 especies que pertenecen a 20 familias y 33 géneros, resaltando la familia Bromeliaceae con 43 nuevas especies descritas para la ciencia en los últimos 15 años, lo que representa el 10 % de las registradas para México (Fig. 3 y Tabla 1).

¿Dónde se ubica el Herbario Metropolitano?

Durante sus primeros años el herbario estuvo ubicado en el primer piso del edificio S, ocupando dos espacios separados con todos los inconvenientes que esto representa para una colección científica. Actualmente se ubica en el laboratorio AS-015, en la planta baja del edificio Alejandro Villalobos anexo del edificio S y ocupa una superficie de 165

m², cuenta con un sistema de compactadores (Fig. 4) que le han permitido aprovechar de manera eficiente el espacio disponible para resguardar adecuadamente los ejemplares. Además, tiene una biblioteca asociada que se ha formado básicamente por donaciones de algunos de los profesores asociados a la colección o de diversas instituciones y en la que se acogen libros especializados, fascículos de diversas floras regionales, series de algunas revistas botánicas, entre otros, es decir, literatura de gran utilidad para la determinación de los ejemplares y para ayudar en las revisiones sistemáticas de diversos grupos botánicos.

La colección del Herbario UAMIZ está abierta a consulta para el público en general; es visitada frecuentemente por diversos especialistas, así como por aficionados y alumnos. Mantiene programas de intercambio y préstamo de ejemplares científicos con diversas instituciones nacionales y extranjeras y acepta también donaciones. Cuando el Herbario Metropolitano (UAMIZ) fue oficialmente inaugurado, la Dra. Rosaura Grether fue quien se encargó de la curaduría de la colección y a partir de 1986 dicha tarea recayó en la M. en C. Ana Rosa López Ferrari, a cuyo cuidado quedó desde entonces esta colección científica que desde su fundación ha realizado labores de investigación, docencia y preservación de la cultura.

¿Cuáles son las labores que se realizan en un herbario?

Para que una colección científica sirva de apoyo permanente a las labores antes mencionadas, es importante considerar una serie de pasos que de manera resumida se presentan a continuación. 1) Enriquecimiento: que es la forma en la que crecen



Fig. 3. Nuevas especies de bromeliáceas descritas para la ciencia en los últimos 15 años (*Werauhia maculata* Espejo, López-Ferr., Aguilar-Rodr. & Díaz-Jim (A)., *Tillandsia dichromantha* Hern.-Cárdenas, López-Ferr. & Espejo (B) y *Hechtia medusae* Hern.-Cárdenas, Siekkinen, López-Ferr. & Espejo (C)). Fotos: A. Espejo (A y B) y R. Hernández-Cárdenas (C)



Fig. 4. Área de compactadores del Herbario Metropolitano (UAMIZ) donde se resguardan más de 86,000 especímenes botánicos. Foto: A. Espejo

las colecciones, ya sea a través de colectas o de compras, intercambios o donaciones, 2) Procesamiento: que implica revisar el material que va a ingresar a la colección verificando que presente estructuras reproductivas y que esté correctamente prensado, identificar o cotejar la correcta determinación de todos los especímenes así como etiquetarlos, montarlos (en cartulina blanca libre de ácido, cosidos con aguja e hilo y protegidos por una cubierta de papel revolución llamada camisa) y finalmente registrarlos en la libreta de ingreso de ejemplares, capturarlos en la base de datos e intercalarlos en los gabinetes, 3) Mantenimiento: que incluye la fumigación anual preventiva, que es indispensable para evitar la presencia de plagas y también la actualización taxonómica de los especímenes, que incluye los cambios nomenclaturales y el cotejo de identificaciones, por lo que se aprovecha la visita de los especialistas para que hagan las correcciones pertinentes, y d) Administración: que implica mantener la colección organizada y revisar el material que ingresa y que sale de la colección (Germán, 1986).

Una labor nada sencilla es la del curador de una colección científica ya que se requiere organización, energía y compromiso con las labores académico-administrativas que implica: estar al tanto de los préstamos, intercambios, servicios, etc., así como de que se realicen las compras de los consumibles necesarios y que se le dé mantenimiento a la colección.

El Herbario Metropolitano cuenta con el apoyo de dos técnicos, los biólogos Jorge Santana y Reyna Cerón. Además mucha de la vitalidad y del crecimiento de la colección recae en las personas que trabajan cotidianamente en dicho espacio, como

los estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado y los profesores y especialistas, a través de sus colectas, identificaciones y actualizaciones nomenclaturales.

¿Para qué sirve un herbario?

La utilidad de los herbarios es muy amplia ya que podemos encontrar en los ejemplares información sobre nombres comunes y algunos usos de las especies, épocas de floración y fructificación, ubicación geográfica y requerimientos ecológicos, entre otros datos interesantes y sus colecciones pueden apoyar diversos campos del conocimiento como la historia de la ciencia, la morfología y anatomía vegetales, la etnobotánica, la farmacognosia, la conservación de los recursos vegetales, la ecología animal, el manejo de pastizales, el combate de malezas y de otras plantas indeseables, entre otros (Rzedowski, 1975). Es también el sitio ideal para adquirir información de la flora de un lugar y constituye la materia prima para todo estudio taxonómico, florístico, biogeográfico, etnobotánico o fitoquímico entre otros, sin embargo es posible enlistar al menos 72 usos más que pueden llegar a tener estas colecciones (Funk, 2004).

¿El herbario se limita únicamente a la investigación?

El herbario cumple también un rol educativo muy importante a nivel universitario y preuniversitario. Muchos de los alumnos de Posgrado de la UAMI realizan sus proyectos de tesis utilizando como herramienta fundamental de sus investigaciones las colecciones institucionales mexicanas y entre ellas la del Herbario Metropolitano. En la licenciatura de Biología, diversos grupos de estudiantes tienen la oportunidad de un primer acercamiento al herbario a través de una visita guiada, como parte del

temario de la UEA (unidad de enseñanza-aprendizaje) Sistemática y Taxonomía.

El Herbario Metropolitano (UAMIZ) no se ha limitado únicamente a los aspectos de investigación y docencia sino que también realiza actividades de preservación y difusión de la cultura. Ha participado en diversos foros de divulgación como la feria de Ciencias de la UAM-Iztapalapa con temas como EL MARAVILLOSO MUNDO DE LAS ORQUÍDEAS Y EL HERBARIO METROPOLITANO UAMIZ (2012), DIVERSIDAD DE PLANTAS EPÍFITAS (2014) y FIBRAS VEGETALES (2016). También ha planeado y montado diversas exposiciones fotográficas: EL HERBARIO METROPOLITANO UAMIZ, INSTRUMENTO DE TRABAJO EN EL QUEHACER BOTÁNICO (1990), ORQUÍDEAS SILVESTRES DEL ESTADO DE MORELOS (1998) organizada en colaboración con el Herbario

AMO y más recientemente la de EPIFITAS VASCULARES MEXICANAS (2017) que también se presentó en la Facultad de Ciencias de la UNAM (Ciudad de México), en la Universidad Veracruzana unidad Xalapa (Veracruz) y en el Jardín Botánico de Puerto Vallarta (Jalisco) (Figs. 5 y 6). De igual manera ha participado en la organización e impartición de cursos básicos de fotografía digital de naturaleza (2017 y 2018) (Fig. 7) y de algunos talleres como el de elaboración de tarjetas florales para ejemplares de herbario (2020).

¿Qué proyectos apoya actualmente el herbario?

Históricamente, el Herbario Metropolitano (UAMIZ) ha apoyado a varios proyectos de índole florística, como: Flora Mesoamericana, Flora de México, Flora de Veracruz, Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, Flora de Tehuacán-Cuicatlán, Las Monocoti-



Fig. 5. Inauguración de la exposición de fotografía científica Epifitas Vasculares Mexicanas, Ciudad de México. Foto: I. N. Gomez-Escamilla



Fig. 6. Exposición de fotografía científica Epifitas Vasculares Mexicanas, en la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. Fotos: B. E. Téllez-Baños



Fig. 7. Curso básico de fotografía digital de naturaleza, UAM-Iztapalapa. Fotos: B. E. Téllez-Baños e I. N. Gomez-Escamilla

ledóneas Mexicanas una Sinopsis Florística, Manual Ilustrado de las Orquídeas Silvestres del Estado de Morelos, Helechos y Lycopodios de México, Bromeliaceae de México y Epífitas Vasculares Mexicanas.

Parte de los resultados de estos proyectos han sido publicados y a manera de ejemplo pueden citarse los protólogos de nuevas especies en diferentes revistas especializadas, las guías ilustradas (ORQUÍDEAS DE MORELOS, BROMELIÁCEAS DE MORELOS), los listados florísticos (9 fascículos de LAS MONOCOTILEDÓNEAS MEXICANAS), los fascículos en diversas floras estatales o regionales (Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Flora de Veracruz), las revisiones de grupos específicos (*HECHTIA* EN: ILLUSTRATED HANDBOOK OF SUCCULENT PLANTS, REVISIÓN TAXONÓMICA DEL GÉNERO *VIRI-*

DANTHA) y los estudios fitogeográficos (DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE ANGIOSPERMAS EPÍFITAS DE LA REGIÓN TERRESTRE PRIORITARIA CERROS NEGRO-YUCAÑO, OAXACA, MÉXICO, IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE ENDEMISMO EN LOS BOSQUES DE NIEBLA MEXICANOS CON BASE EN LA DISTRIBUCIÓN DE BROMELIAS Y ORQUÍDEAS EPÍFITAS ENDÉMICAS), entre otros (Fig. 8).

También y gracias a la participación en proyectos financiados por la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) se han generado bases de datos abiertas a la consulta pública que resultan de utilidad para todos los interesados en estudiar algunos grupos de la flora mexicana: DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS ESPECIES DE BROMELIACEAE MEXICANAS (Proyec-



Fig. 8. Publicaciones científicas como resultado de la consulta del Herbario Metropolitano. Foto: B. E. Téllez-Baños

to No. JM008), MONOCOTILEDÓNEAS MEXICANAS (Proyectos No. P015, G016), bases de datos disponibles en el portal de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>; http://www.conabio.gob.mx/web/proyectos/proyectos_financiados.html).

El futuro del herbario UAMIZ

La creación en 1974 de la Universidad Autónoma Metropolitana como una nueva institución de educación pública superior con la innovadora figura del Profesor-Investigador, permitió, con la creación del Departamento de Biología en la unidad Iztapalapa, el nacimiento del Herbario Metropolitano como un instrumento que apoyase los proyectos florísticos que en su momento se impulsaron. Desde entonces y al igual que nuestra Casa Abierta al Tiempo, el herbario ha madurado, ha crecido, ha formado botánicos y ha participado activamente en la enseñanza apoyando diversas licenciaturas y posgrados de la UAMI. Después de estos 40 años de vida es imprescindible pensar y reflexionar sobre su futuro. Si bien algunos de los problemas más urgentes se han resuelto en el mediano plazo, como la instalación de compactadores para aprovechar mejor el espacio y de un sistema de alarma contra incendios, otras situaciones imprevistas como el sismo que sufrió la Ciudad de México el 19 de septiembre de 2017, nos han mostrado la vulnerabilidad de las condiciones en que se mantienen ésta y otras instalaciones de la unidad. Si bien el edificio en que se encuentra el herbario no sufrió daños considerables, si tuvo afectaciones como la aparición de grietas por las que, en época de lluvias, se filtra el agua, condición que

puede eventualmente afectar el buen estado de los ejemplares. Hace algunos años se tenía el plan de construir un edificio que albergara a todas las colecciones de la unidad Iztapalapa pero desafortunadamente esto nunca se pudo concretar.

También es importante mencionar que el Herbario Metropolitano es una colección dinámica, en el sentido de que a lo largo de su existencia su acervo se ha incrementado de forma considerable (72,000 en 2011, 74,000 en 2012, 79,000 en 2014, 85,000 en 2018, 86,000 en 2020) y se tiene un ingreso constante de ejemplares que respaldan numerosas investigaciones, por lo que si se mantiene el ritmo de crecimiento del acervo en diez años tendremos cerca de 18,000 ejemplares más sin que se tenga un espacio adecuado donde colocarlos, por lo que es urgente considerar entre los planes de la unidad Iztapalapa, un espacio físico idóneo que permita la preservación de este patrimonio universitario, si es que queremos que se mantenga como un apoyo a las labores de investigación botánica en México.

En marzo de 2020 la pandemia de Covid-19 paralizó a todo el mundo, afectando así las labores de investigación y docencia, ya que al permanecer cerradas las instalaciones de la Universidad la consulta de ejemplares botánicos del Herbario Metropolitano (UAMIZ) fue imposible, situación que permite pensar en la importancia de plantear también un proyecto, a futuro, de digitalización de toda la colección.

Finalmente queda abierta la invitación para que todos los interesados conozcan, consulten y valoren esta colección científica de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la UAM-Iztapalapa, que

es un patrimonio universitario, el cual representa además un legado extraordinario de todas las personas que han y siguen contribuyendo al estudio de la Botánica y de las Ciencias Biológicas, una colección que con su labor cotidiana colabora con el anhelado propósito de tener algún día la Flora de México.

BIBLIOGRAFÍA

Funk, V. A., 100 Uses for a Herbarium (well at least 72), *The Yale University Herbarium*, 17 [2], pp. 17–19, 2004. Available at:
<http://www.virtualherbarium.org/vh/100UsesASPT.html>.

Germán, M. T., Estructura y organización del herbario, in *Manual de herbario: Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares de herbario*, 1986, pp. 11–30.

López Ferrari, A. R. y Espejo Serna, A., *Herbario Metropolitano: Aportaciones del*

Herbario Metropolitano ‘Ramón Riba y Nava Esparza’ al conocimiento del capital natural de México, Universidad Autónoma Metropolitana, 2015.

Rzedowski, J., El herbario como instrumento de trabajo su manejo y operación’, *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 34, pp. 65–74, 1975, DOI: 10.17129/bots-ci.1141.

Thiers, B., *Index Herbariorum: A Global Directory of Public Herbaria and Associated Staff (Base de datos)*, New York Botanical Garden’s Virtual Herbarium, 2020. Available at: <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/>.

Tabla 1. Especies nuevas de la familia Bromeliaceae publicadas por investigadores del Herbario Metropolitano de 2005 a 2020

	Género	epíteto	autores	Año
1	<i>Aechmea</i>	<i>aenigmatica</i>	López-Ferr., Espejo, Ceja & A. Mend.	2011
2	<i>Aechmea</i>	<i>novoae</i>	Flores-Arg., López-Ferr. & Espejo	2020
3	<i>Catopsis</i>	<i>occulta</i>	Mart.-Correa, Espejo & López-Ferr.	2014
4	<i>Hechtia</i>	<i>caulescens</i>	López-Ferr., Espejo & Mart.-Correa	2009
5	<i>Hechtia</i>	<i>chichinautzensis</i>	Mart.-Correa, Espejo & López-Ferr.	2010
6	<i>Hechtia</i>	<i>colossa</i>	Mart.-Correa, Espejo & López-Ferr.	2010
7	<i>Hechtia</i>	<i>edulis</i>	I. Ramírez, Espejo & López-Ferr.	2011
8	<i>Hechtia</i>	<i>elegans</i>	Siekkinen, Hern.-Cárdenas, López-Ferr. & Espejo	2020
9	<i>Hechtia</i>	<i>ensifolia</i>	Hern.-Cárdenas, Siekkinen, López-Ferr. & Espejo	2020
10	<i>Hechtia</i>	<i>gypsophila</i>	López-Ferr., Espejo & Hern.-Cárdenas	2019
11	<i>Hechtia</i>	<i>ibugana</i>	Flores-Argüelles, Espejo & López-Ferr.	2019

Tabla 1.

	Género	epíteto	autores	Año
12	<i>Hechtia</i>	<i>mapimiana</i>	López-Ferr. & Espejo	2013
13	<i>Hechtia</i>	<i>medusae</i>	Hern.-Cárdenas, Siekkinen, López-Ferr. & Espejo	2020
14	<i>Hechtia</i>	<i>minuta</i>	Hern.-Cárdenas, Espejo & López-Ferr.	2019
15	<i>Hechtia</i>	<i>montis-frigidi</i>	Gonz.-Rocha, Espejo, López-Ferr. & Cerros	2014
16	<i>Hechtia</i>	<i>nuusaviorum</i>	Espejo & López-Ferr.	2007
17	<i>Hechtia</i>	<i>platyphylla</i>	Hern.-Cárdenas, Siekkinen, López-Ferr. & Espejo	2020
18	<i>Hechtia</i>	<i>pretiosa</i>	Espejo & López-Ferr.	2008
19	<i>Hechtia</i>	<i>purhepecha</i>	I. García, Espejo & López-Ferr.	2014
20	<i>Hechtia</i>	<i>pycnostachya</i>	Hern.-Cárdenas, Siekkinen, López-Ferr. & Espejo	2020
21	<i>Hechtia</i>	<i>rubicunda</i>	López-Ferr. & Espejo	2014
22	<i>Hechtia</i>	<i>zamudioi</i>	Espejo, López-Ferr. & I. Ramírez	2008
23	<i>Pitcairnia</i>	<i>anarosae</i>	Gonz.-Rocha, Mejía-Marín & Espejo	2020
24	<i>Pitcairnia</i>	<i>queroana</i>	Espejo & López-Ferr.	2015
25	<i>Pitcairnia</i>	<i>robert-downsii</i>	González-Rocha, Espejo, López-Ferr. & M. Castillo	2018
26	<i>Pitcairnia</i>	<i>singularis</i>	Flores-Arg., Espejo & López-Ferr.	2017
27	<i>Pitcairnia</i>	<i>yocupitziae</i>	Espejo & López-Ferr.	2010
28	<i>Tillandsia</i>	<i>borealis</i>	López-Ferr. & Espejo	2007
29	<i>Tillandsia</i>	<i>chalcatzingensis</i>	Gonz.-Rocha, Cerros, López-Ferr. & Espejo	2015
30	<i>Tillandsia</i>	<i>dichromantha</i>	Hern.-Cárdenas, López-Ferr. & Espejo	2020
31	<i>Tillandsia</i>	<i>escahuascensis</i>	Espejo, López-Ferr., Ceja & A. Mend.	2011
32	<i>Tillandsia</i>	<i>grossispicata</i>	Espejo, López-Ferr. & W. Till	2008
33	<i>Tillandsia</i>	<i>inopinata</i>	Espejo, López-Ferr. & W. Till	2008
34	<i>Tillandsia</i>	<i>macvaughii</i>	Espejo & López-Ferr.	2005
35	<i>Tillandsia</i>	<i>magnispica</i>	Espejo & López-Ferr.	2009
36	<i>Tillandsia</i>	<i>religiosa</i>	Hern.-Cárdenas, González-Rocha, Espejo, López-Ferr., Cerros & Ehlers	2014
37	<i>Tillandsia</i>	<i>sessemocinoi</i>	López-Ferr., Espejo & P. Blanco	2006
38	<i>Tillandsia</i>	<i>sierrahalensis</i>	Espejo & López-Ferr.	2007
39	<i>Tillandsia</i>	<i>suesilliae</i>	Espejo, López-Ferr. & W. Till	2007
40	<i>Viridantha</i>	<i>rzedowskiana</i>	Hern.-Cárdenas, Espejo & López-Ferr.	2018
41	<i>Viridantha</i>	<i>uniflora</i>	Hern.-Cárdenas, Espejo & López-Ferr.	2019
42	<i>Werauhia</i>	<i>maculata</i>	Espejo, López-Ferr., Aguilar-Rodr. & Díaz-Jim.	2020
43	<i>Werauhia</i>	<i>noctiflorens</i>	T. Krömer, Espejo, López-Ferr. & Acebey	2007

Fibras de Plásticos de Alto Rendimiento: los polibencimidazoles



Dra. Miriam García Vargas

Dr. Joaquín Palacios Alquisira

Laboratorio de Físicoquímica Macromolecular

Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Larissa Alexandrova

Instituto de Investigaciones en Materiales

Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

Los polibencimidazoles (PBIs) son una clase de polímeros de alto rendimiento; su estructura aromática les proporciona rigidez, una alta estabilidad térmica y excelente resistencia química. Sin embargo, solo unos pocos PBIs han sido explorados en la práctica, debido a su difícil procesamiento. Entre los derivados de PBIs, el poli (2,2'-(m-fenil)-5,5'-dibencimidazol) ofrece una combinación de estabilidad térmica y procesabilidad, por lo que fue el primer PBI disponible bajo el nombre comercial Celazole®. Inicialmente fue empleado en la industria militar y posteriormente su uso se expandió al mercado de fibras textiles de alto rendimiento como ropa de protección contra el fuego. No obstante, su uso no se limita a la industria textil, sus aplicaciones más recientes incluyen celdas de combustible, membranas de separación de gases, materiales de revestimiento para aviones y naves espaciales, etc. En el presente trabajo se presenta una revisión enfocada en la síntesis, procesamiento y principales aplicaciones de los PBIs.

Palabras clave

Polibencimidazoles, fibras, hilado, aplicaciones

Abstract

Polybenzimidazoles (PBIs) are a class of high-performance polymers; their aromatic structure provides them with rigidity, high thermal stability and excellent chemical resistance. However, only a few PBIs have been explored in practice, due to their difficult processing. Among the derivatives of PBIs, poly (2,2'-(m-phenylene) -5,5'-dibenzimidazole) offers a combination of thermal stability and processability, making it the first PBI available under the trade name Celazole®. Initially it was

used in the military industry and later its use expanded to the market of high-performance textile fibers as protective clothing against fire. However, its use is not limited to the textile industry, its most recent applications include fuel cells, gas separation membranes, coating materials for aircraft and spacecraft, etc. This paper presents a review focused on the synthesis, processing and main applications of PBIs.

Key words

Polybenzimidazoles, fibers, spinning, applications

Introducción

Las fibras sintéticas han modificado la forma en que los seres humanos interactúan con el mundo que los rodea. Durante miles de años, la seda, el algodón y la lana se utilizaron para brindar calidez y protección al cuerpo, aunque presentaban algunos inconvenientes, por ejemplo, la predisposición del algodón a arrugarse, el manejo delicado de la seda y la tendencia a la contracción de la lana condicionaban su aplicación.

La historia de las fibras artificiales se remonta a inicios del siglo XX con el desarrollo del Rayón (obtenido a partir de la celulosa) empleado principalmente para el recubrimiento de telas y en la producción de hilos. Para mediados de siglo XX, se habían producido más de 50 tipos diferentes de fibras poliméricas artificiales como: el nylon, poliéster, acetato, etc. Dichas fibras presentan excelentes propiedades técnicas y luego comenzaron a usarse ampliamente como refuerzo en neumáticos de automóviles en lugar del rayón (Hearle, 2001).

Durante años, la necesidad de comprender la teoría fundamental de la fabricación de

fibras, combinada con la demanda de fibras de alta calidad, han atraído la atención de muchos científicos alrededor del mundo. El conocimiento avanzado y profundo de la físicoquímica de los polímeros ha permitido la manipulación de dichos materiales, haciendo posible la obtención de un sinnúmero de nuevos polímeros impulsados por las necesidades del consumidor.

No obstante, para comprender la relación entre las condiciones de procesamiento y las propiedades específicas de los productos deseados, es necesario un conocimiento exhaustivo de las condiciones óptimas de manejo y las características del material. Los principios fundamentales que determinan la microestructura y las propiedades de las fibras poliméricas incluyen el conocimiento de la composición, la microestructura molecular del polímero y las características morfológicas como la cristalinidad. La comprensión de estos factores es la clave para determinar el proceso de fabricación desde la síntesis del monómero, la polimerización, el hilado de la fibra y el estiramiento hasta la obtención del producto final (Bath, 2014).

En este trabajo deseamos presentar información relevante sobre las propiedades de los polibencimidazoles (PBIs) comerciales, especialmente los que se usan para fabricar fibras y tejidos, así como las técnicas de preparación de fibras de PBIs y finalmente las aplicaciones ya existentes y potenciales de PBIs.

Fibras poliméricas

Se definen como fibras aquellos filamentos de origen natural o sintético que son aptos para ser hilados y tejidos. En otras palabras, una fibra es un polímero cuyas cadenas se encuentran extendidas en línea

recta a lo largo de un eje. La clasificación de un material como fibra, depende más de su forma que de cualquier otra propiedad (Figura 1). Una definición más estricta exige que su longitud sea al menos 100 veces su diámetro. Las fibras sintéticas pueden fabricarse de cualquier relación de longitud a diámetro, mientras que las fibras naturales tienen longitudes que oscilan entre 1000-3000 veces su diámetro.

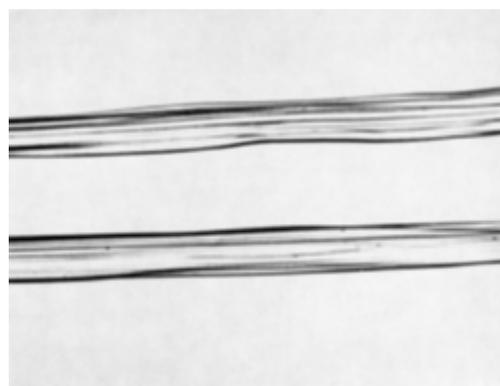


Figura 1. Vista longitudinal de una fibra de viscosa.

Estructura química de las fibras

Las cadenas poliméricas tienen diferentes configuraciones dentro de las fibras. Cuando son capaces de empaquetarse según un ordenamiento regular, entonces el polímero es cristalino, lo que indica que las cadenas se encuentran paralelas y estrechamente empaquetadas. Por ejemplo, el Nylon 6,6 se empaqueta formando fibras cristalinas, ya que los oxígenos del carbonilo y los hidrógenos de la amida pueden unirse formando puentes de hidrógeno. Esto permite que las cadenas puedan alinearse ordenadamente para formar fibras (Figura 2). Esta interacción es tan fuerte que las cadenas prácticamente no se deslizan unas sobre otras; como consecuencia, cuando se estiran las fibras de nylon, no se extienden mucho; esta característica las hace ideales para

emplearse en hilos y sogas. En contraste con un polímero amorfo, donde las cadenas se encuentran desordenadas.

En polímeros semicristalinos las cadenas están dispuestas en regiones cristalinas y amorfas; la proporción de ambas regiones finalmente determinará las propiedades de las fibras. El análisis de las cadenas dentro de las fibras ayuda a entender su resistencia, flexibilidad y extensibilidad. Las fibras con un alto grado de cristalinidad se consideran fuertes y rígidas, ya que no se estiran fácilmente, también se recuperan del estiramiento rápidamente. Mientras que aquellas con un alto nivel de regiones amorfas tenderán a ser flexibles, absorbentes y menos duraderas y pueden teñirse fácilmente.

Si bien las fibras poseen elevada fuerza tensil (es decir que son resistentes cuando se les estira) por lo general tienen baja resistencia compresional, o sea, son

débiles cuando se aprietan o se comprimen. Además, las fibras tienden a ser resistentes en una dirección, la dirección en la cual están orientadas (Figura 3). Si son estiradas de manera perpendicular a su orientación, entonces tienden a debilitarse.

Los polímeros ordenados en fibras, pueden ser hilados y usados como textiles; para ello, deben tener características adecuadas con respecto a varias propiedades físicas. Por ejemplo, un elevado punto de reblandecimiento que permita el planchado, una resistencia a la tracción adecuada en un intervalo regularmente amplio de temperaturas, solubilidad o capacidad de fusión para el hilado, un elevado modulo o rigidez y buenas cualidades textiles. La industria textil es bastante compleja y una nueva fibra debe cumplir un conjunto de propiedades deseables que han sido en gran parte decididas por adelantado, en la Figura 4 se enlistan algunas propiedades importantes de las fibras para aplicaciones

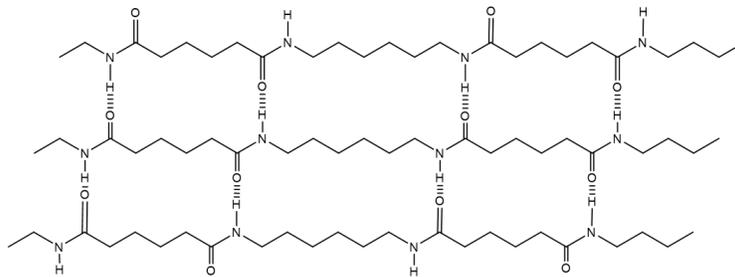


Figura 2. Estructura del Nylon 6,6.

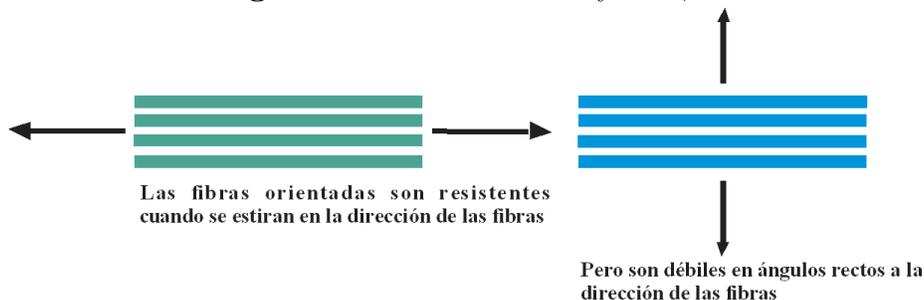


Figura 3. Orientación y resistencia de las fibras.

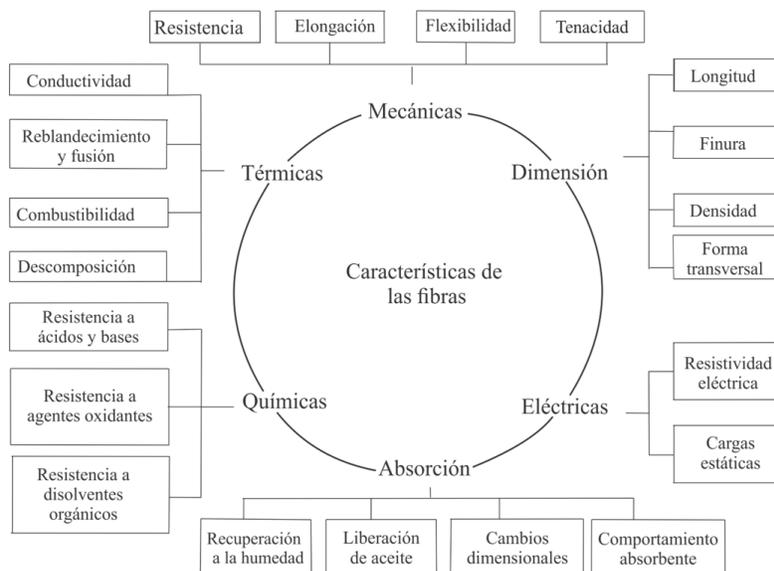


Figura 4. Propiedades de las fibras.
(Tomado de Sabir, 2017)

textiles (Sabir, 2017).

Técnicas de fabricación de las fibras

La mayoría de las fibras sintéticas son manufacturadas por extrusión; proceso que consiste en hacer pasar un fluido espeso y viscoso a través de los pequeños orificios de un dispositivo llamado spinneret (hilera o hilador) para formar filamentos continuos de polímero semisólido. Inicialmente, los polímeros son sólidos y deben ser transformados al estado fluido para la extrusión. Esto se consigue por medio del trabajo mecánico del extrusor y aporte de calor para polímeros termoplásticos (es decir, se ablandan y se funden cuando se calientan); o por disolución en un disolvente adecuado si no son termoplásticos. Si no pueden ser disueltos o fundidos directamente, entonces deben ser tratados químicamente para formar derivados solubles o termoplásticos.

Spinneret

La hilera o spinneret es una pieza similar

a un cabezal de ducha del baño y pueden tener uno o varios cientos de agujeros (Figura 5). Las aberturas pequeñas del spinneret son muy sensibles a las impurezas y la corrosión, de modo que la alimentación líquida o fluida hacia ellos debe ser cuidadosamente filtrada lo cual no es tan sencillo si se trata de materiales muy viscosos. En algunos casos, la hilera debe ser hecha de metales como el platino y/o aceros especiales. El mantenimiento es también un factor crítico, ya que las hileras deben ser retiradas y limpiadas con regularidad para evitar su obstrucción.



Figura 5. Spinneret (hilera)

A medida que los filamentos salen de los orificios de la hilera, el polímero líquido se convierte primero a un estado gomoso y luego se solidifica. Este proceso de extrusión y la solidificación de filamentos continuos se llama hilado. Existen 4 métodos de hilar filamentos de fibras manufacturadas: hilado en húmedo, hilado en seco, hilado por fusión e hilado en gel. A continuación, se describen brevemente cada uno (Hagewood, 2014).

Hilado en húmedo

Es el proceso más antiguo y es capaz de hilar una gran cantidad de fibras simultáneamente. En este procedimiento, el polímero es disuelto en un disolvente apropiado; a su vez, la hilera se encuentra sumergida en un baño con un disolvente apropiado donde el polímero no es soluble (baño de coagulación) por lo cual los filamentos que emergen precipitan de la disolución y se solidifican (Figura 6 a). Posteriormente, las fibras solidificadas son estiradas en un tambor giratorio. Debido a que la disolución es extruida directamente en el líquido de precipitación, este proceso se denomina hilado en húmedo. Las fibras acrílicas, aramidas, spandex y rayón son producidas por este proceso.

Hilado en seco

En este método, el polímero también se disuelve en un disolvente apropiado y después se bombea a través de la hilera; sin embargo, en lugar de precipitarlo, la solidificación se consigue llevando los filamentos hacia una columna de calentamiento donde el disolvente se evapora mediante una corriente de aire o gas inerte. Puesto que los filamentos no entran en contacto con un líquido de precipitación, se elimina la necesidad de secado y a su vez se facilita la recuperación de disolventes. Este proceso

ha sido empleado para la producción de fibras de acetato, triacetato, PBI (polibencimidazol), y Vinyon (policloruro de vinilo) etc. La figura 6 b muestra un esquema del proceso de hilado en seco.

Hilado por fusión.

Este proceso es el más económico debido a que no se emplea ni recupera disolvente, por lo cual es el método preferido para fabricar fibras y es ampliamente usado en la industria textil. Se usa principalmente para polímeros que pueden fundirse fácilmente; por consiguiente, se extruye una masa fundida viscosa de polímero a través de la hilera, en una cámara donde se solidifica por enfriamiento dirigiendo una ráfaga de aire frío o gas inerte sobre la superficie de las fibras que emanan de la hilera. Cuando el aire golpea las fibras, éstas se solidifican y se agrupan en una rueda. Las fibras de nylon (poliamida), olefinas, poliéster, Saran (copolímero de cloruro de vinilideno y cloruro de vinilo) y sulfar (polisulfuro de fenileno) se producen mediante este proceso. La figura 6 c muestra un esquema del proceso de hilado por fusión.

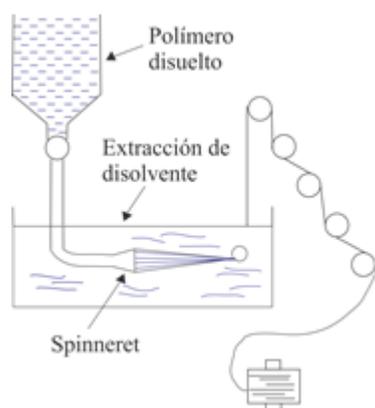
Hilado en gel.

La hilatura en gel es un proceso utilizado para obtener fibras especiales con alta resistencia u otras propiedades. En este caso, el polímero no se encuentra en un estado verdaderamente líquido si no semi-diluido (disolución altamente viscosa) por lo cual las cadenas de polímero no están completamente separadas como lo estarían en una verdadera disolución, sino que están unidas entre sí en diversos puntos en forma de cristal líquido. La disolución se extruye a través de una hilera en un baño líquido donde la solución se solidifica fácilmente y forma un gel de polímero, en donde las moléculas de polímero se alinean al azar.

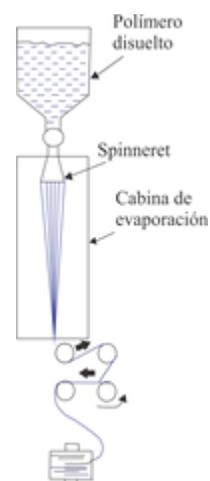
Luego, el gel de polímero se estira sobre rodillos, haciéndolo 100 veces más largo que su longitud original, esto produce un alineamiento a lo largo del eje de la fibra por las fuerzas de cizallamiento durante la extrusión; los filamentos emergen con un grado inusualmente alto de orientación lo que aumenta la resistencia a la tracción. La figura 6 d muestra un esquema del proceso de hilado en gel. Algunas fibras de polietileno y de aramida de alta resistencia son producidas por hilatura en gel.

Estiramiento y orientación de las fibras

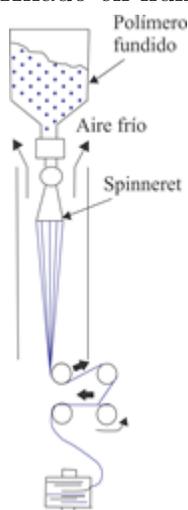
Las fibras extruidas se pueden estirar para impartir resistencia. Al ser estiradas, las cadenas poliméricas se juntan y orientan a lo largo del eje de la fibra, creando un hilo considerablemente más fuerte. Por lo general, el estiramiento se consigue pasándolos por rodillos que giran a diferentes velocidades. Primeramente, los filamentos se pasan por rodillos que los calientan hasta la temperatura de transición vítrea, para evitar la rotura de los mismos durante el estirado. Luego pasan por los rodillos



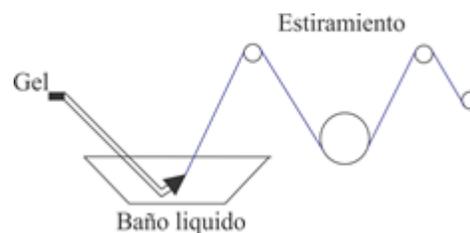
(a) Hilado en húmedo



(b) Hilado en seco



(c) Hilado por fusión



(d) Hilado en gel

Figura 6. Métodos de hilado

de estirado y posteriormente por rodillos estabilizadores para evitar que se encojan nuevamente.

Polímeros de alto rendimiento (*High performance polymers*)

Los polímeros de alto rendimiento se definen como un grupo de materiales poliméricos que tienen la capacidad de retener sus propiedades (mecánicas, térmicas y químicas) aun cuando son sometidos a ambientes hostiles como altas presiones y temperaturas; además de ofrecer buena resistencia a productos corrosivos y funcionar como barrera contra gases. Se han reportado en la literatura varias familias de polímeros de alto rendimiento que encuentran un potencial de aplicación mejorado en las áreas más desafiantes como: aeroespacial, defensa, energía, electrónica, automotriz, etc. (Mittal, 2011). Algunos ejemplos de estos materiales son: los poliésteres aromáticos, polipirroles, poliimidazoles, polisulfonas y polibencimidazoles.

Fibras de alto rendimiento (*High performance fibers*)

Las fibras de alto rendimiento son conocidas y definidas por sus características superiores en comparación con las fibras textiles tradicionales, ya que resisten la degradación térmica y cierto grado de ataque químico, en particular la oxidación. Su resistencia se debe a sus microestructuras de cadenas aromáticas y/o en escalera, lo cual ofrece una combinación de resistencia física y química durante períodos aceptables a lo largo de su vida útil; por lo cual, se dirigen a mercados donde esas propiedades son deseables; por ejemplo, como fibras de refuerzo, cordones, sogas, telas, tendones de carga, adhesivos y selladores, empaques electrónicos, equipamiento deportivo y fibra óptica (Kerr, 2005). Las fibras de alto

rendimiento se clasifican de acuerdo a su estructura química. La tabla 1 muestra la estructura química de algunas fibras importantes de alto rendimiento.

Polibencimidazoles

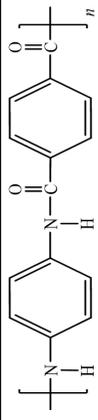
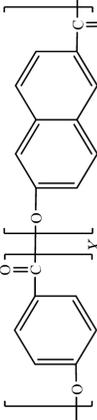
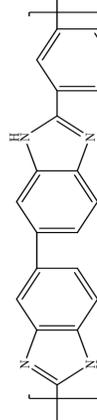
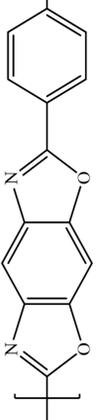
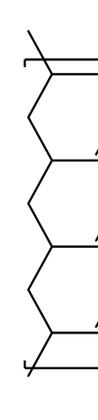
Los polibencimidazoles (PBIs) son una clase de polímeros heterocíclicos aromáticos conocidos debido a sus notables propiedades mecánicas, estabilidad térmica, alta temperatura de transición vítrea, resistencia a ácidos, bases y a la radiación de alta energía [Chung, 2006]. Son excelentes candidatos en áreas de aplicación como: aeroespacial, materiales semiconductores, petroquímica, dispositivos eléctricos, ultrafiltros, materiales eléctricamente conductores, materiales resistentes al fuego, entre otros.

Generalmente se obtienen a partir de reacciones de condensación y ciclización de una tetraamina aromática y un diácido aromático. El proceso de polimerización puede realizarse en estado fundido o en disolventes polares fuertes, en una o en dos etapas. En la primera etapa se mezclan los monómeros y la masa se lleva a una temperatura superior a los 240°C para producir un polímero de bajo peso molecular (prepolímero). En la segunda etapa el polímero se pulveriza y se somete a un tratamiento térmico de hasta 400°C para aumentar el peso molecular (figura 7). El polímero resultante está en forma de un polvo fino color marrón. La principal desventaja de este procedimiento es la generación de espuma debido a los subproductos de la reacción (fenol y agua).

Propiedades fisicoquímicas generales de un PBI para ser hilado

Generalmente, un PBI sintetizado es útil para el hilado de fibras si cumple con los

Tabla 1. Estructura química de fibras de alto rendimiento

Familia	Nombre comercial	Nombre químico	Estructura química	Aplicaciones
Poliámidas Aromáticas (aramidas)	Kevlar	Poli(p-fenilentereftalamida)		Chalecos antibalas Partes de aviones Casco militares
	Nomex	Poli(m-fenilenoftalamida)		Ropa protectora antincendios Aislante eléctrico
Poliésteres Aromáticos	Vectran	Copolímero líquido-cristalino		Refuerzo para cuerdas, cables, neumáticos
Polímeros heterocíclicos aromáticos	Celazole	Poli (2,2'-(m-fenileno)-5,5'-dibencimidazol)		Ropa de bombero Trajes espaciales Guantes protectores
	Zylon	Poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)		Partes de vehículos (Fórmula 1) Cables de fibra óptica
Fibras de poliolefina	Spectra	Polietileno de Ultra alto peso molecular (UHMW-PE)		Cuerdas de rescate y de seguridad Hilo de pesca Trajes de esgrima
Fibras de carbono	PAN	Poliacrilonitrilo		Refuerzo de otros materiales Piezas de aviones y naves espaciales Mástiles para barco

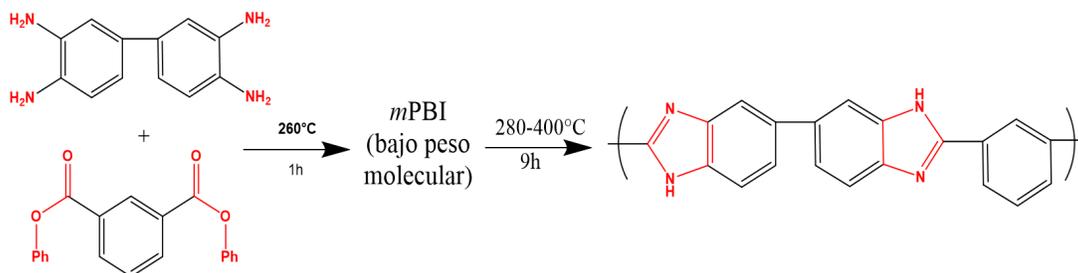


Figura 7. Síntesis de PBI en dos etapas

siguientes criterios (Wang, 2015):

1. Viscosidad inherente (IV) entre 0,7 y 0,75 dL g⁻¹.
2. El valor de taponamiento es superior a 0,5 g/cm².
3. Fracción gel menor al 1 %.

Un polímero con una IV alta, generalmente produce una fibra con mejores propiedades mecánicas. Por otro lado, el valor de taponamiento se define como el peso teórico en gramos de polímero que pasaría por 1 cm² de un filtro en un tiempo infinito para taponarlo; esta es una medida de la filtrabilidad de la disolución. Cuanto mayor sea el valor de taponamiento, mejor será la filtrabilidad de la disolución de polímero. Por último, la fracción gel hace referencia a la cuantificación de los materiales insolubles en la disolución. Una vez cumplidos estos criterios se procede a la obtención de fibras, las cuales se pueden preparar mediante los procesos de hilado en seco e hilado en húmedo, pero el hilado en seco es el método preferido. Los disolventes comúnmente empleados para disolver el PBI son: el ácido sulfúrico, dimetilformamida, dimetilsulfóxido, y dimetilacetamida (DMAC). El proceso de hilatura consta de una serie de operaciones que se describen a continuación.

Preparación de la disolución dope

Consiste en la preparación de una disolución del PBI mezclando el polvo del polímero con 1-5 % en peso de LiCl (aditivo para hilatura, se agrega para estabilizar la disolución) y disolviendo en dimetilacetamida (DMAC) en una atmósfera inerte. A esto se le conoce como disolución dope, una solución típica contiene 25 % de PBI en peso y brinda una viscosidad inherente de 0.7-0.8, 25°C (Conciatori, 1967). La disolución se calienta y se filtra para eliminar las partículas que podrían interferir con el procesamiento posterior.

El siguiente paso es la extrusión en seco de la disolución de polímero. La disolución dope se hace pasar por la hilera con ayuda de una bomba. A medida que la disolución sale de la hilera, el disolvente se evapora y la disolución comienza a formar una fibra semisólida. La fibra resultante pasa a través de una cámara calentada a 180°C en la parte superior y 240°C en la parte inferior para eliminar la mayor parte del DMAC; el vapor de DMAC se recupera a través de un sistema de recuperación de vapor. Finalmente, el haz de fibras resultantes o “extremos” que se extraen de la cámara se combinan con otros extremos para formar una sub-estopa que se recoge y empaqueta en bobinas. En este punto las propiedades de la fibra recién hilada son

débiles; su tenacidad es de 0,11–15 N/tex (1,3–1,7 gramos/denier), módulo de 2,6–4,4 N/tex (30–50 gramos/denier) y elongación a la rotura de aproximadamente 100–120 % (Jaffe, 1994).

El procesamiento final de la fibra consta de cinco pasos continuos:

(i) Lavado: La sub-estopa se pasa a través de un baño de agua caliente para eliminar el DMAC residual y el cloruro de litio que queda en la fibra del hilado.

(ii) Estirado: después del lavado, la sub-estopa se estira y se calienta para orientar la fibra de PBI y producir un valor de denier de fibra final de 1,5.

(iii) Sulfonación: La mayoría de las fibras de PBI se tratan con ácido sulfúrico para aumentar la estabilidad de la fibra a la flama. Para ello, la sub-estopa se sumerge en una disolución débil de ácido sulfúrico y posteriormente se calienta a alta temperatura en una atmósfera inerte para unir químicamente el azufre a la molécula de PBI (Figura 8). El PBI sulfonado se encoge menos del 10 % cuando se expone a la flama directa. Este análisis consiste en exponer las muestras de tela de manera vertical a una llama de aproximadamente 870 °C durante 12 segundos.

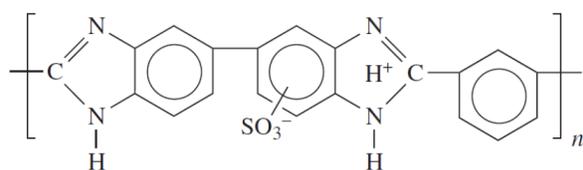


Figura 8. Microestructura de PBI sulfonado.

(iv) Engarzado, acabado y corte: Dependiendo de los requerimientos, el PBI se

engarza y se corta en varias longitudes.

(v) Empaque.

En la tabla 2 se presentan algunas fibras textiles representativas y sus características más importantes.

Fibras comerciales de PBI

El desarrollo de la primera fibra commercial de PBI se remonta a la década de 1960, cuando el Laboratorio de Materiales de la Fuerza Aérea de EE. UU contrató a Celanese Corporation para desarrollar una fibra resistente a altas temperaturas. Por otro lado, después del incendio en 1967 de la nave espacial Apolo, la NASA probó la fibra de PBI como un material no inflamable para su uso en trajes de vuelo que brindaría la máxima protección a los astronautas o pilotos en entornos ricos en oxígeno.

Después de su fabricación y uso a escala piloto en aplicaciones militares y aeroespaciales altamente especializadas, Celanese Corporation inicio la producción a gran escala de la fibra de PBI, bajo el nombre Celazole (poli (2,2'-(m-fenilen)-5,5'-dibencimidazol)); sintetizada a partir de bisfeniltetraamina más ácido isoftálico; cabe destacar que es el único polibencimidazol disponible comercialmente cuya estructura se presenta a continuación (Figura 9).

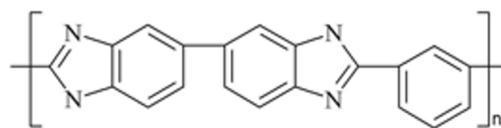


Figura 9. Estructura de Celazole®

Esta fibra es conocida como producto

Tabla 2. Fibras textiles representativas (Rodríguez, 1984; Frank, 2011)

Nombre genérico	Tenacidad (g/denier)	Elongación (%)	Absorción de agua a 21°C	Estabilidad térmica	Modulo inicial (N/tex)
Rayón regular	0.7-3.2	15-30	11-13	Pierde resistencia a 150°C	2-3
Spandex	0.7-0.9	400-625	1.3	Pegajosa a 215°C	0.005-0.01
Nylon 6,6	3.0-9.5	16-66	4.2-4.5	Pegajoso a 230°C Fundes a 250-260°C	0.5-3
Kevlar	21.7	2.5-4	4.5-7	Se descompone a 500°C	41-43
Nomex	4.0-5.3	22-32	6.5	Se descompone a 375°C	8-14
Polietileno lineal	3.5-7.0	10-45	-	Se ablanda a 115-125°C Fundes a 125-138°C Encoje 5% a 78-80°C	0.2-5
Celazole	2.7	1.8	5.0	Tg entre 400-450°C	4

premium para muchas aplicaciones basadas en el alto rendimiento, estas incluyen telas de protección contra incendios, productos de alta resistencia a la fricción y sustratos ignífugos para aviones. Las propiedades y características de Celazole se muestran en la tabla 3. Cabe resaltar su característica más importante: la estabilidad térmica y a la flama. Para evaluar dicha característica, se realiza una prueba de inflamabilidad la cual consiste en exponer una muestra de tela a una temperatura de flama alta durante un periodo de tiempo controlado. El rendimiento de inflamabilidad se determina midiendo el tiempo de post-llama en la tela y la longitud de la tela destruida por la flama (longitud carbonizada). La tela producida a partir de PBI no presenta post-llama y la longitud de carbonización es mínima (10 mm o 0,4 pulgadas).

Actualmente, no hay muchos fabricantes que ofrezcan productos de PBI, en parte debido a su difícil procesamiento. El principal fabricante a nivel mundial es la compañía PBI Performance products, Inc. Ofrecen PBI en polvo y en solución; Celazole U-Series: principalmente para producir piezas para su uso en entornos cálidos. Celazole T-Series: para aplicaciones que exigen alta resistencia química y al desgaste. Solutions and coatings: disolución de PBI para hilado, fabricación de membranas y fibras huecas. Además de ofrecer algunas mezclas de PBI con otros materiales como Nomex, aramidas, etc. (consultar PBI products website)

Aplicaciones existentes y potenciales no textiles

Los PBIs se utilizan en varias formas físicas

Tabla 3. Propiedades fibra de PBI Celazole (Coffin, 1982)

Propiedad	Unidades en sistema Ingles	Unidades en sistema Métrico
Denier por filamento	1.5 denier	1.7 dtex
Tenacidad	2.7 g/d	2.4 dN/tex
Elongación de rotura	28.5 %	28.5 %
Modulo inicial	32.0 g/d	28.0 g/d
Engarzado	28.0 %	28.0 %
Gravedad especifica	1.43	1.43
Recuperación de humedad a 20°C	15.0 %	15.0 %
Contracción al agua	<1.0 %	<1.0 %
Contracción al aire caliente	<1.0 %	<1.0 %
Calor especifico	0.3BTU/lb°F	1.0 K/Kg°C
Resistividad de la superficie a 21°C		1x10 ¹⁰ ohms/cm
Conductividad térmica	0.022BTU/hr.ft.°F	0.038W/m °C
Color	Oro	Oro
Longitudes de corte estándar	1 ^{1/2} , 2,3 y 4 inch	38, 50, 76 y 102 mm
Tg		427°C

diferentes que se encuentran disponibles o que pueden fabricarse, ya que continúan saliendo a la luz nuevas aplicaciones que exigen estabilidad del material a altas temperaturas (Figura 10). Por ejemplo, las membranas poliméricas para la separación de gases (H_2 , CO_2); pocos polímeros se pueden utilizar con éxito para dicho fin ya que tienden a plastificarse. Para ello se ha propuesto el uso de PBIs, ya que además de ser estables a altas temperaturas se prevé que resistan la plastificación gracias a su estructura extremadamente rígida y a su denso empaquetamiento. Sin embargo, estas características hacen que las moléculas lo atraviesen lentamente disminuyendo su permeabilidad (Villalobos, 2017), por lo cual se trabaja en modificar su estructura.

Por otro lado, con el incremento de la población mundial, la demanda de energía es cada vez mayor, por lo cual se requieren fuentes de energía alternativas y métodos de producción de energía limpia. Las

celdas de combustible han surgido como respuesta a esta problemática; los PBIs dopados con ácido fosfórico han sido ampliamente estudiados como electrolitos en celdas de combustible; particularmente las membranas de PBIs funcionalizados y sus mezclas con diferentes electrolitos (Mader, 2008) mostrando resultados alentadores como alternativa para las investigaciones tradicionales basadas en membranas de ácido sulfónico perfluorado.

Por otra parte, las mezclas y resinas de PBI han encontrado aplicaciones como aislante térmico y eléctrico; se pueden moldear distintas piezas mediante un proceso de sinterización. El producto final tiene una alta resistencia a la tracción y a la flexión; además de mantener sus propiedades eléctricas a alta temperatura, debido a ello son considerados en misiones espaciales. También se han utilizado PBIs como un reemplazo seguro y eficaz del asbesto, por ejemplo, en los guantes para

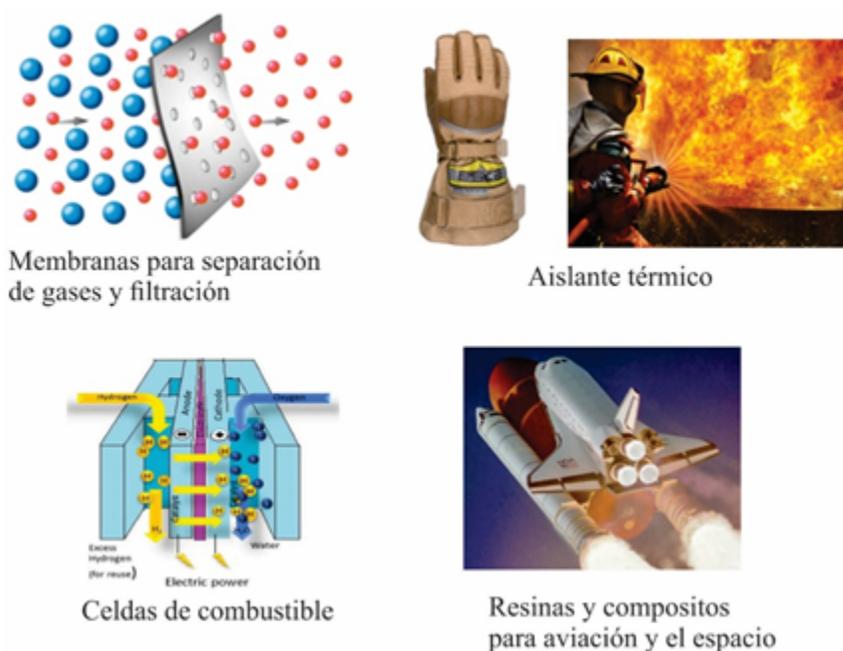


Figura 10. Aplicaciones de PBIs

fundiciones, extrusión de aluminio y tratamiento de metales en donde los guantes suelen estar sujetos a una severa abrasión y temperaturas de hasta 800°C. Desde luego, la principal desventaja de los PBIs es su elevado precio, además de su absorción de agua lo que puede degradar sus propiedades mecánicas.

Conclusiones

La ciencia y la tecnología han llevado a la reinención de las fibras textiles tradicionales hacia fibras innovadoras con el propósito de satisfacer necesidades específicas. Dado el crecimiento del sector de materiales de alto rendimiento, se buscan nuevas formas de desarrollar fibras que se adapten a los distintos niveles de exigencia. Algunas de las propiedades de las fibras de alto rendimiento, como alta resistencia, temperaturas de funcionamiento más altas y capacidad retardante a la llama, las hacen ideales para su aplicación en cualquier campo, desde actividades deportivas hasta entornos más hostiles.

Los polibencimidazoles, uno de los polímeros de alto rendimiento desarrollado en los años 70, debían competir con otros polímeros de alto rendimiento que se descubrieron al mismo tiempo y eran producidos a un costo más bajo; por lo que su máximo potencial aún no se ha desarrollado por completo. Por tanto, las futuras investigaciones sobre PBIs se dirigen hacia: (1) nuevos polibencimidazoles modificados, (2) membranas de separación, (3) métodos de síntesis alternativos y más económicos, (4) mezclas de fibras de alto módulo y alta resistencia. Las aplicaciones discutidas sugieren que en el futuro los productos de PBIs serán aún más rentables. Desde el punto de vista del desarrollo científico, los PBIs continúan siendo un nuevo polímero poco explorado del cual se pueden

esperar nuevas aportaciones en el campo de los materiales durante los próximos años.

Bibliografía

Bath, G. Kandagor. Synthetic polymer fibers and their processing requirements. *Advances in filament Yarn spinning of textiles and polymers*. Chapter 1. pp. 3-30, 2014.

Chung T. A critical review of polybenzimidazoles. *J Macromol Sci Polymer Rev.* [37:2] pp. 277-301, 2006. Coffin, D.R. Serad, A. Hicks, H.Ly Montgomery, R.T. Properties and applications of Celanese PBI-Polybenzimidazole fiber. *Text. Res. J.*, pp. 466-472,1982.

Conciatori, A.B. Chenevey, E.C. Bohrer, C.T. y Prince Jr, A.E. Polymerization and spinning of PBI, *J. Appl. Polym. Sci.* 19 [49], pp. 49-64,1967.

Frank, E. Bauch, V y Schultze-Gebhardt, F. Fibers, 1. Survey. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. pp 1-34. John Wiley and Sons. 2011.

Hagewood, J. Technologies for the manufacture of synthetic polymer fibers. *Advances in filament Yarn spinning of textiles and polymers*. Chapter 3. pp. 48-70, 2014.

Hearle, JWS.; High-performance fibers. Woodhead Publishing Lt. 2, Cambridge, England. pp. 1-21, 2001

<https://www.pbiproducts.com/> (Recuperado el 08 de octubre de 2020)

Jaffe, M. Chen, P. Choe, E.W. Chung, T.S. y Makhija, S. High Performance Polymer Blends. *Adv. Polym. Sci.*, 117, pp. 297-326, 1994.

Kerr, M. Chawla, N. y Chawla, K. The cyclic fatigue of high-performance fibers. JOM, 57 [2], pp. 67- 71, 2005.

Mader, J. Xiao, L. Schmidt, T.J. y Benicewicz, B.C. Polybenzimidazole/acid complexes as high temperature membranes, Fuel Cells II, Advances in Polymer Science, [216] , pp 63-124, 2008.

Mittal, V. High performance polymers: an overview. High performance polymers and Engineering Plastics. Scrivener Publishing LLC. Chapter 1. pp 1-20, 2011.

Rodríguez, F., Principios de sistemas de polimeros. Editorial El Manual Moderno. S.A.de C.V. Mexico, pp. 542-543,1984. Sabir, T. Fibers used for high-performance apparel. High-performance Apparel. Materials, Development, and Applications. Woodhead Publishing Series in Textiles. pp. 7-32, 2017.

Villalobos, L.F. Hilke, R. Akhtar, H. F. y Peinemann, K-V. Fabrication of polybenzimidazole/palladium nanoparticles hollow fibers membranes for hydrogen purification. Adv. Energy Mater. pp 1701567, 2017.

Wang, Y. Yang, T. Fishel, K. Benicewicz, B. y Chung, T. Polybencimidazoles. Handbook of Thermoplastics. CRC Press, Taylor Group. 2 nd Edition. Chapter 19. pp. 618-662, 2015.

FE DE ERRATAS

En el número anterior 119, en el artículo "Los cefalópodos del antiguo Museo Nacional de Historia Natural de México: Chopo", en el resumen en Inglés dice lo siguiente:

Abstract

The old Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) of Mexico, commonly known as Museo del Chopo, has its origin in the extinct Museo Nacional created in 1825. The Museum was closed in 1964 and for long time the collections were allocated in several locations. The Instituto de Biología of Universidad Nacional Autónoma de México has several collections from the old museum. In particular, the Colección Nacional de Moluscos, since 1989, has more than 600 lots of molluscs in its repertoire. Among them nine specimens of cephalopods (squids, cuttlefishes and octopuses) which are reported in the present work. All specimens are stored in their original jars with formalin and hermetically sealed, and only few have their original labels. The three main groups of cephalopods are represented. Three octopuses were collected off México and re-identified as *Octopus mimus*. One paper nautilus (*Argonauta argo*) and two cuttlefishes (*Sepia elegans* and *S. officinalis*) are Mediterranean, and one squid (*Doryteuthis opalescens*) from United States of America. All specimens were collected late 19th century and beginning 20th century. This biological material is important because are part of the historical heritage of Mexico.

Todos los nombres científicos que aparecen en el resumen en Inglés están con fuente normal deben de estar en cursiva por ser regla internacional de la nomenclatura zoológica:

The old Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) of Mexico, commonly known as Museo del Chopo, has its origin in the extinct Museo Nacional created in 1825. The Museum was closed in 1964 and for long time the collections were allocated in several locations. The Instituto de Biología of Universidad Nacional Autónoma de México has several collections from the old museum. In particular, the Colección Nacional de Moluscos, since 1989, has more than 600 lots of molluscs in its repertoire. Among them nine specimens of cephalopods (squids, cuttlefishes and octopuses) which are reported in the present work. All specimens are stored in their original jars with formalin and hermetically sealed, and only few have their original labels. The three main groups of cephalopods are represented. Three octopuses were collected off México and re-identified as *Octopus mimus*. One paper nautilus (*Argonauta argo*) and two cuttlefishes (*Sepia elegans* and *S. officinalis*) are Mediterranean, and one squid (*Doryteuthis opalescens*) from United States of America. All specimens were collected late 19th century and beginning 20th century. This biological material is important because are part of the historical heritage of Mexico.

Así como también del mismo artículo, el pie de la figura 1 dice Ejemplar deshidratado de "*Doryteuthis opalescens*" debe de decir "*Doryteuthis opalescens*".

Agradecemos su comprensión

Atentamente

Editora en Jefe y Comité Editorial



