

Revista de
divulgación
científica

iBIO

Biotecnología a la vanguardia

Cultivo vegetal
para la producción
de compuestos
bioactivos



Revista de divulgación científica iBIO, Año 5, No. 1, marzo 2023 - junio 2023, es una publicación electrónica cuatrimestral. Insurgentes norte 1260 509, Capultitlán, Gustavo A. Madero CP:07370, Ciudad de México, México. Página electrónica de la revista: www.revistaibio.com y dirección electrónica: jessica.sanchezvarg@gmail.com. Editor responsable: Jessica Sánchez Vargas. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título: 04-2023-010910182600-102. ISSN: 2954-4890. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: M. en B. Jessica Sánchez Vargas. Fecha de última modificación: 18 de febrero de 2023. Tamaño del archivo: 37.2 MB. Los artículos y su contenido son responsabilidad exclusiva de sus autores. Se permite la reproducción total o parcial del contenido con fines de divulgación, otorgando el debido crédito a los autores. Queda prohibida cualquier forma de comercialización del contenido.

Revista de
divulgación
científica

iBIO

<http://revistaibio.com/>



/revista.ibio



ibio.revista

Directorio

Editor en jefe

Jessica Sánchez Vargas
Isauro Guzmán Cortez

Comité editorial

Gpe. Tonantzin de Dios Figueroa
Jesús Torres Rizo
Francisco J. Valdés Parada

Editores de sección

Olga B. Benítez López
Karla X. Franco Flores
Jessica Sánchez Vargas

Galerado

Jessica Sánchez Vargas
Francisco J. Valdés Parada
Isauro Guzmán Cortez
Gpe. Tonantzin de Dios Figueroa
Jesús Torres Rizo

Vinculación

Adrián Chávez Sánchez
Ingrid M. Gallegos Olmos

Redes sociales

Bryan A. Polito Palma
Jordi Humberto Reyes
Saira Reyes Diego

CARTA

EDITORIAL

En esta edición se muestra un compendio de aplicaciones de la biotecnología vegetal a través de diferentes niveles de complejidad: Comenzando a nivel nanométrico con el aprovechamiento de las fibras vegetales para obtener nanomateriales; siguiendo a la escala micro, con el estudio de la microalga *Chlamydomonas reinhardtii*. Subiendo un nivel, se cuenta con el cultivo de células y tejidos vegetales para la producción de compuestos bioactivos y la conservación de plantas como el agave. Finalmente, a un tamaño de organismo completo se presenta el uso de los árboles de Huizache y de Bambú para remediar la contaminación de suelos por arsénico. Podrá notarse que en cada uno de estos niveles la biotecnología vegetal beneficia de forma directa o indirecta tanto al medio ambiente como a la salud del ser humano.

Uno de los puntos más importantes a resaltar en esta edición es la formalización de esta publicación periódica mediante la obtención del número ISSN. Agradecemos a los autores, los revisores externos y a todos los miembros de la Revista de Divulgación Científica iBIO por todo el trabajo que se ha hecho por más de dos años. Es gracias a la contribución de cada una de estas partes que se ha logrado mantener la constancia e ir mejorando la calidad de cada uno de nuestros números. Tengan la certeza de que seguiremos esforzándonos para que cada nueva edición sea siempre mejor que la anterior.

Agradecemos mucho a nuestros lectores por seguirnos, esperamos que puedan sentirse atraídos por alguna de estas aplicaciones y que esta edición sirva como punto de partida para descubrir e investigar más allá de lo presentado por nuestros autores. Más aún, se les exhorta a colaborar con la Revista de divulgación científica iBIO mediante el envío de sus manuscritos de divulgación.

Sinceramente,

Isauro Guzman Cortez
Jessica Sánchez Vargas

Editores en jefe

Revista de
divulgación
científica

iBIO

Contenido

El tema del mes

Cultivo de tejidos y células vegetales para la producción de compuestos bioactivos.

Hypatia Arano Varela

Redes

Una herramienta revolucionaria: La edición genética, su historia, fundamentos y aplicaciones.

Carolina González Torres, Francisco Javier Gaytán Cervantes, Itzel Peralta Salguero y Andrea Martínez Marroquín

Hot Science

Antibióticos en peligro de extinción: *Streptomyces*: Fábrica de nuevas moléculas antimicrobianas.

Fernanda Jocely Calderón de la Sancha

Nanomateriales de fibras vegetales: ¿Cómo reutilizar lo que la naturaleza nos provee?.

Santiago José Guevara-Martínez y Mary Keiby Hernández-Trejo

Terapias dirigidas: Un nuevo panorama en el tratamiento del Cáncer de Pulmón.

Saé Muñoz Hernández, Juan M. Hernández Martínez y Oscar Arrieta

Científicos notables

Dr. Benjamín Rodríguez Garay “Conservador de agaves”.

Julio César López-Velázquez

Arte en ciencia e ingeniería

Jardines químicos: El arte de hacer ciencia.

Saira Reyes Diego y Jessica Sánchez-Vargas

¿Y ahora qué?

Sobre mi improbable camino científico.

José Flores Uribe

Concientifica

Un subproducto agroalimentario con valor agregado: Sistemas de membranas para tratar el subproducto del maíz.

Elsa Díaz-Montes

Pigmentos vegetales: Una alternativa frente a colorantes sintéticos.

Diana Carolina Franco Vásquez y Juan Pablo Carreón Hidalgo

La corrosión y el medio ambiente.

Omar Alejandro González Noriega, Ana Karen Gálvez Larios y Alfredo Brito Franco

Las plantas: Tecnología para solucionar el gran problema de contaminación por arsénico.

Nemi Alcántara Martínez

Alimentos tradicionales de origen mexicano: ¿Cómo contribuyen para combatir la obesidad a través de la microbiota intestinal?

Rebeca Escutia-Gutiérrez, Mónica Almeida-López y Ana Sandoval-Rodríguez

5

10

15

20

24

30

34

39

44

48

52

57

62

Figura 1. Cultivo de tejidos y células vegetales. Mediante estas técnicas biotecnológicas es posible establecer cultivos *in vitro* a partir de cualquier planta para producir compuestos de interés.



Cultivo de tejidos y células vegetales para la producción de compuestos bioactivos

Hypatia Arano Varela

Depto. Ciencias de la Salud, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma
h.arano@correo.ler.uam.mx

Las plantas superiores tienen la capacidad de fabricar una gran variedad de productos orgánicos de bajo peso molecular (como compuestos fenólicos, terpenos y alcaloides) a partir de precursores inorgánicos simples. Esa capacidad de síntesis ha sido esencial para su reproducción, la colonización de diferentes ambientes, el establecimiento de relaciones simbióticas y especialmente para su supervivencia. Comúnmente, esos compuestos son referidos como: **metabolitos secundarios o especializados, fitoquímicos o productos naturales** [2].

En términos generales, los productos naturales, engloban a todos los compuestos derivados de algún organismo vivo (animales, microorganismos y plantas). Estos organismos producen metabolitos primarios (como polisacáridos y proteínas) y secundarios que poseen diversas actividades biológicas (como antibióticos y antifúngicos), razón por la cual se mantienen como fuente principal de **compuestos bioactivos** [1].

Industrialmente, los **metabolitos secundarios (ms)** son valiosos para la elaboración de insecticidas, cosméticos, productos nutracéuticos y combustibles. Además, por siglos estos compuestos han sido de gran interés para el Hombre: son útiles para el tratamiento de diversas enfermedades humanas y su aplicación como fármacos terapéuticos en la **medicina tradicional** de diferentes culturas está bien documentada. En la actualidad, su uso representa la principal estrategia para combatir importantes problemas de salud, por lo que son la base para un considerable número de **medicamentos** [2, 4].

En la actualidad, los **ms** son obtenidos directamente de plantas silvestres o cultivadas, y esto se debe principalmente a que, su síntesis

química, por un lado, no es viable económicamente hablando, ya que, debido a su complejidad estructural y estereoquímica, en muchos casos involucra múltiples reacciones, algunas muy costosas. Por otro lado, la síntesis completa no se ha logrado para muchos compuestos. Además, con frecuencia los sustitutos sintéticos no exhiben la misma eficacia y/o especificidad farmacobiológica. Asimismo, el uso de microorganismos para obtener **ms** vía semi-síntesis no es muy común, mientras que el uso de biorreactores híbridos es más común en vegetales. En este tipo de biorreactores, las raíces primero son crecidas en “reactores en fase líquida”, es decir, en medio de cultivo es líquido, posteriormente son retiradas del medio líquido, y pasan a la fase conocida como “fase gaseosa”, es decir, las raíces pasan a los “reactores de fase gaseosa” donde continúan recibiendo los nutrientes por medio de aspersiones o por medio de nebulizaciones [5, 7].

Aún la extracción de estos compuestos a partir de recursos naturales, es *per se* complejo por factores como: i) baja concentración de metabolitos, ii) recursos naturales limitados (en algunos casos podría conducir a su extinción), iii) lenta velocidad de crecimiento, iv) restricción de producción a algunos órganos, especies y/o géneros, v) producción condicionada a etapas de crecimiento y desarrollo o sólo bajo ciertas condiciones estacionales y/o nutricionales. También importan cuestiones como la adecuada identificación botánica, la calidad del material vegetal y su composición química (la cual puede variar entre individuos aun perteneciendo a la misma especie) [4, 7].

Situaciones como el cambio climático

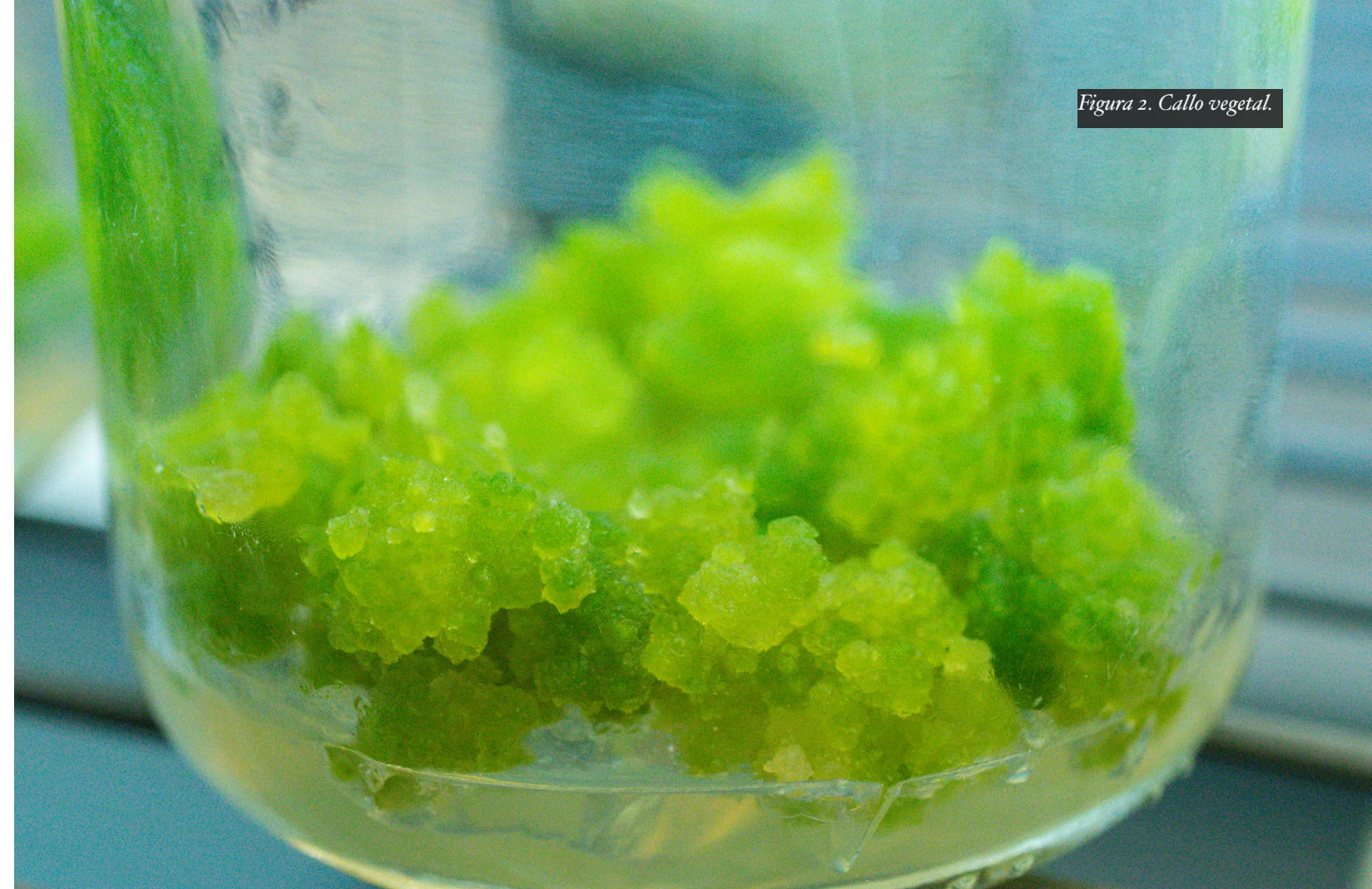


Figura 2. Callo vegetal.

y otras causas antropogénicas, también han contribuido a la disminución y/o extinción de especies, que, junto con el excesivo uso de las plantas y sus productos, han generado una brecha importante entre su oferta y su demanda. Por tales razones, es importante el desarrollo de estrategias sustentables y económicas para la obtención de **compuestos bioactivos** [4].

En ese sentido, el **cultivo de tejidos vegetales (CTV)**, representa una herramienta biotecnológica fundamental para la obtención de algunos de esos metabolitos pero que también es esencial para la investigación básica y aplicada. El **CTV** se refiere al **cultivo aséptico in vitro de células, tejidos y/u órganos vegetales bajo condiciones físicas y químicas definidas**. Esta técnica data de 1902, cuando el botánico australiano Gottlieb Haberlandt, reportó la formación de **callos** y por vez primera logró la regeneración total de una planta en condiciones de laboratorio (ver Figura 2). Gracias a que sentó las bases teóricas para el uso de **CTV**, y a que introdujo el concepto de **totipotencia**, a Gottlieb se le reconoce como el fundador del **CTV**.

Posteriormente, durante las primeras décadas del siglo pasado fueron establecidos los primeros cultivos *in vitro*, se desarrollaron medios de cultivo y métodos, cuyo uso ha trascendido [6, 7].

El uso de **CTV** como tecnología para el análisis y la producción de **ms**, se estableció a finales de 1960. Desde entonces, su uso se ha incrementado a nivel mundial para obtener y/o incrementar la producción de metabolitos de interés farmacéutico valiosos como el taxol, berberina, vinblastina, ácido rosmarínico y resveratrol. Además, el uso de **CTV** ha impactado en campos como la citología, mejoramiento genético, genética funcional, conservación de germoplasma, micropropagación y producción heteróloga de metabolitos y proteínas. Adicionalmente, se intensificó el uso de cultivos celulares indiferenciados en suspensión y de tejidos diferenciados, como embriones somáticos, raíces adventicias y brotes [7, 8].

Hoy día, los cultivos pueden ser originados a partir de prácticamente cualquier especie vegetal (incluyendo especies medicinales no modelo como hierba de San Juan, cóleo, planta de té y ashwagandha) y de cualquier tejido. Inicialmente,

los **explantes** deben ser desinfectados y posteriormente colocados en un medio de cultivo estéril (usualmente enriquecido con una fuente de carbono, nutrientes orgánicos, minerales y **reguladores de crecimiento vegetal**, todos ellos necesarios para dirigir respuestas de desdiferenciación y/o diferenciación celular) bajo condiciones físicas de cultivo in vitro controladas, como luz y temperatura (ver Figura 3) [3, 7, 8].

La obtención de **ms** a partir de **CTV** se basa en la premisa de que: 'cualquier célula es metabólicamente totipotente', es decir, que a nivel genómico y bioquímico poseen las piezas necesarias para producir los mismos compuestos que los presentes en la planta origen [8]. A menudo, el **CTV** es la única fuente rentable para suministrar compuestos activos en abundancia y aunque los rendimientos de producción son predominantemente bajos, estos pueden ser mejorados biotecnológicamente [4].

La producción de **ms** mediante **CTV** es renovable y ecológica. Además: la producción de compuestos es ajena a condiciones ambientales externas; las células de cualquier especie de interés pueden ser clonadas con el propósito de aumentar la obtención de metabolitos específicos, '**bio-fabricas**'; es posible seleccionar cultivos altamente productores de compuestos; la obtención de productos puede lograrse en periodos cortos de cultivo (de 2 a 4 semanas); los costos de producción son reducidos y la productividad alta [3, 7].

Es importante mencionar que un conjunto de problemas inherentes al cultivo celular como las **variaciones somaclonales**, aunado al limitado conocimiento sobre las rutas de biosíntesis y de los mecanismos moleculares tras la producción de estos compuestos, ha resultado con frecuencia en bajos rendimientos de producción, razón por la cual pocos compuestos bioactivos son obtenidos a nivel industrial vía **CTV**. No obstante, se ha reportado que el **CTV** en conjunto con la aplicación expansiva de tecnologías 'ómicas' así como el desarrollo de técnicas de manipulación genética, ingeniería metabólica, expresión heteróloga de genes y técnicas de edición de genomas, podrían ser estrategias ventajosas para incrementar los rendimientos de producción, pero, en este sentido, aún queda mucho por explorar, especialmente en especies no modelo [3, 4, 8]. **BO**

Glosario

Callo: masa desorganizada de células no diferenciadas.

Totipotencia: es el potencial que tiene una célula, para dar lugar a un individuo completo, independientemente de que la célula sea de raíz, hoja, flor, tallo, etc.

Explante: tejido vegetal aislado que dará origen a los cultivos como embriones, hojas, tallos, raíces y/o meristemas.

Reguladores de crecimiento vegetal: compuestos que regulan el crecimiento, desarrollo y las respuestas de defensa vegetal. Erróneamente llamadas fitohormonas.

Variaciones somaclonales: variaciones en el genoma inducidas por el cultivo con repercusiones fenotípicas.

Referencias

- [1] Baker DD, Chu M, Oza U, Rajgarhia V (2007) The value of natural products to future pharmaceutical discovery. *Nat Prod Rep.* 24:1225-1244. <https://doi.org/10.1039/b602241n>
- [2] Forni C, Facchiano F, Bartoli M, Pieretti S, Facchiano A, D'Arcangelo D, Norelli S, Valle G, Nisini R, Beninati S, Tabolacci C, Jadeja NR (2019) Beneficial role of phytochemicals on oxidative stress and age-related diseases. *BioMed Res Int.* 8748253:1-16. <https://doi.org/10.1155/2019/8748253>
- [3] Hussain MS, Fareed S, Ansari S, Rahman M, Ahmad IZ, Saeed M (2012) Current approaches toward production of secondary plant metabolites. *J Pharm Bioall Sci.* 4:10-20. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.92725>
- [4] Marchev AS, Yordanova ZP, Georgiev MI (2020) Green (cell) factories for advanced production of plant secondary metabolites. *Crit Rev Biotechnol.* 40:443-458. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1731414>
- [5] Oksman-Caldentey K-M, Inze D (2004) Plant cell factories in the post-genomic era: new ways to produce designer secondary metabolites. *Trends Plant Sci.* 9:433-440. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.07.006>
- [6] Thorpe TA (2007) History of plant tissue culture. *Mol Biotechnol.* 37:169-180. <https://doi.org/10.1007/s12033-007-0031-3>
- [7] Wilson SA, Roberts SC (2012) Recent advances towards development and commercialization of plant cell culture processes for synthesis of biomolecules. *Plant Biotechnol J.* 10:249-268. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2011.00664.x>
- [8] Yue W, Ming Q, Lin B, Rahman K, Zheng C-J, Han T, Qin L (2016) Medicinal plant cell suspension cultures: pharmaceutical applications and high-yielding strategies for the desired secondary metabolites. *Crit Rev Biotechnol.* 36:215-232. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.923986>

Figura 3. Cultivos vegetales. Los cultivos vegetales pueden ser originados a partir de prácticamente cualquier especie vegetal, bajo condiciones de crecimiento controladas, como temperatura, luz y nutrientes.



"Nadie comprende todavía la misteriosa inteligencia que hay en el seno de las plantas, o el alcance de la idea de que la naturaleza comunica, en un lenguaje básicamente químico, lo que es inconsciente pero profundo"
-Terrence McKenna

Redes

Una herramienta revolucionaria

La edición genética, su historia, fundamentos y aplicaciones

Carolina González Torres*
Francisco Javier Gaytán Cervantes*
Itzel Peralta Salguero
Andrea Martínez Marroquín

Laboratorio de Secuenciación, División de Desarrollo de la Investigación, IMSS.

*Autores para la correspondencia: javier_gc50@hotmail.com; gonzaleztorrescaro@gmail.com

Introducción

El ADN es la molécula que contiene la información genética, por lo cual, entender la estructura y función de los genomas de diversas especies nos ha permitido el desarrollo de técnicas moleculares con el fin de realizar cambios genómicos estructurales. El descubrimiento de la función de las enzimas de restricción en 1968 y la implementación del ADN recombinante, establecieron las bases de la edición genética, logrando en la década de los 70s la introducción de ADN exógeno dentro del genoma de una célula, esto desencadenó un avance sin precedentes en este campo. En la década de los 90s, el descubrimiento de la endonucleasa FokI fue la base para desarrollar la primera técnica específica de edición genética: los dedos de zinc (ZFN). Posteriormente, en 2010 se desarrolló otro método basado en FokI, las nucleasas efectoras de tipo activador de la transcripción (TALENs) [1]. En 2012 Doudna y Charpentier llevaron la edición genética a su momento más importante con el descubrimiento y desarrollo de la herramienta de Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Espaciadas (CRISPR) y recientemente en 2019 el grupo de Lui describió una nueva herramienta denominada Prime Editing la cual posee un nivel de mayor precisión y especificidad que las técnicas mencionadas. Actualmente, estas técnicas de edición genética tienen aplicaciones con potencial en diversas áreas como en la medicina y en la industria [2].

Sistemas de edición genética

Los mecanismos de acción de las herramientas de edición genética, los cuales se describen a continuación, son de suma importancia para comprender sus posibles aplicaciones:

ZFN (Zinc-Finger Nuclease)

La implementación de los ZFN marcó un avance en el desarrollo de los sistemas de edición genética, ya que fue la primera técnica empleada para la modificación de un organismo. Este tipo de sistema puede cortar el ADN en sitios específicos y modificar su secuencia, se compone de dos partes: los dedos de zinc, que de manera independiente poseen la capacidad de reconocer y unirse a secuencias del ADN y la endonucleasa FokI; los cuales en conjunto, son capaces de identificar secuencias específicas de hasta 18 bases. El reconocimiento de la secuencia genera el corte de la doble hebra del ADN por la endonucleasa, lo que activa el mecanismo de reparación por extremos no homólogos, interrumpiendo la secuencia del gen de interés [3, 4].

TALENs (Transcription activator-like nuclease)

Los TALENs al igual que los dedos de zinc son proteínas acopladas a endonucleasas capaces de identificar secuencias de ADN específicas. El reconocimiento se realiza a través de una región de residuos de repetición variable (RVD), la cual consta de una cadena de 33 a 34 aminoácidos diversos, para el reconocimiento y especificidad de la secuencia de interés. La unión al DNA promueve el corte de la doble hebra de ADN por la endonucleasa FokI, lo que desencadena la activación del mecanismo de reparación de extremos no homólogos, originando una alteración

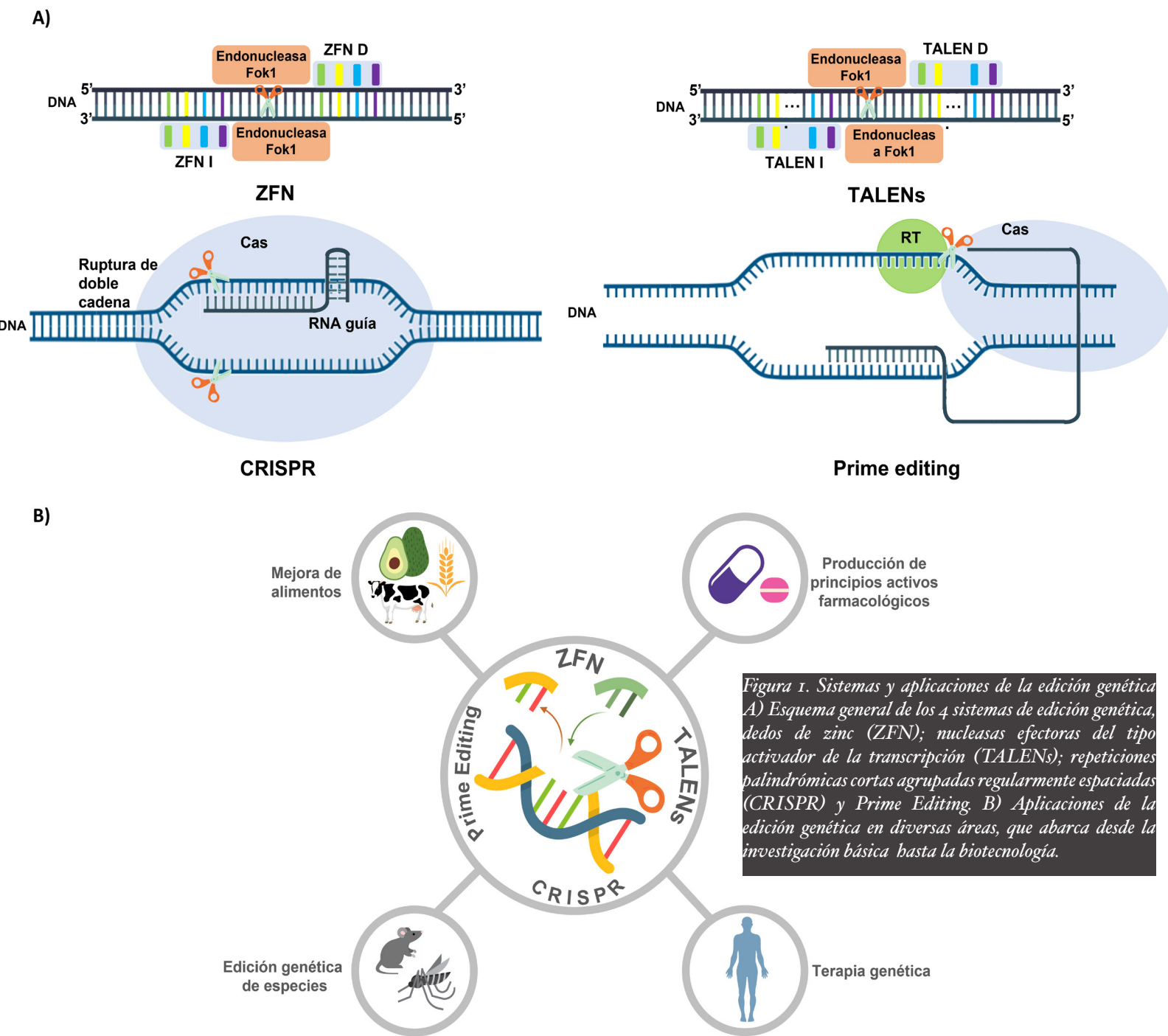


Figura 1. Sistemas y aplicaciones de la edición genética. A) Esquema general de los 4 sistemas de edición genética, dedos de zinc (ZFN); nucleasas efectoras del tipo activador de la transcripción (TALENs); repeticiones palindrómicas cortas agrupadas regularmente espaciadas (CRISPR) y Prime Editing. B) Aplicaciones de la edición genética en diversas áreas, que abarca desde la investigación básica hasta la biotecnología.

en la secuencia de ADN y por consecuencia una interrupción en el marco de lectura del gen [3, 4].

CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats)

Esta técnica de edición genética ha tomado gran relevancia en los últimos años, la herramienta se compone de una guía de ARN, la cual ayuda a la endonucleasa Cas asociada a CRISPR a posicionarse en la región de interés para realizar un corte en la doble hebra de ADN, este corte desencadena la activación de los mecanismos de

reparación, dando como resultado la interrupción de la secuencia blanco o la integración de las mutaciones de interés mediante un ADN exógeno [3, 5].

Prime editing

Recientemente se describió un nuevo método de edición genética, en el cual la principal diferencia respecto a las otras metodologías es que no realiza cortes en las dos hebras de DNA. Este sistema se basa en el sistema CRISPR-Cas, utiliza una enzima Cas modificada, que corta una sola hebra de ADN,

acoplada a una retrotranscriptasa y una guía de ARN que contiene la secuencia que hibrida con el gen de interés y las bases que serán modificadas. Las ventajas de este sistema respecto a CRISPR-Cas es que nos permite modificar un mayor número de bases, además de una mayor precisión en el reconocimiento de su gen blanco [6].

Aplicaciones de edición genética

Las herramientas de edición genética pueden emplearse en diversos campos de estudio como biología, biotecnología y medicina (Figura 1); se han aplicado en ciencia básica para entender la función de los genes en diversas especies como corrección de mutaciones genéticas, eliminación de secuencias patógenas y activación o desactivación de genes, aumento en la producción de proteínas recombinantes para modificar rutas metabólicas, obtener ingredientes bioactivos, biomateriales y otras moléculas de interés. Además, la edición genética se ha empleado en diversos sectores como el alimentario o el farmacéutico, que van desde alimentos con mayor concentración de nutrientes, el control de plagas, la adaptación al cambio climático para dotar de alimento seguro y suficiente a la creciente población, hasta la generación de nuevos medicamentos [7]. La edición genética tiene un impacto en la manipulación de organismos

silvestres asociados a la dispersión de enfermedades infecciosas como la malaria, el dengue o el Zika, al eliminar su capacidad reproductiva [8]. En el caso del humano, se ha tenido el firme propósito de aplicarse en el tratamiento y prevención de diversas enfermedades que van desde infecciones virales, enfermedades cardiovasculares, desórdenes metabólicos como diabetes, defectos del sistema inmune, hemofilia, distrofia muscular, diversos tipos de cáncer además de inmunoterapias anticáncer, sin embargo, algunos de estos estudios actualmente se encuentran en las primeras fases de investigación preclínica [4, 9].

Ética y perspectivas

La edición genética tiene un gran potencial en diversas áreas, por lo que profundizar en su estudio es de suma importancia con el objetivo de evaluar su impacto en generaciones futuras. Existe una discusión respecto al uso de la edición genética y la modificación de organismos, siendo el caso de los experimentos realizados por el Dr. Jiankui, quien utilizó el sistema CRISPR-Cas para modificar embriones humanos con fines reproductivos, lo cual causó una gran preocupación en la comunidad científica internacional, pues no se conoce aún el impacto que puede llegar a tener en un futuro debido a la etapa temprana en la que se encuentran

los estudios [10, 11]. Por otro lado, aún no conocemos las implicaciones de su uso en la manipulación de otros organismos, ya que el mejoramiento de algunas especies puede afectar la homeostasis de los nichos ecológicos por la interrupción de cadenas alimenticias, también la alteración de alimentos podría perjudicar a especies endémicas del lugar de cultivo [12, 13].

Si bien, en el contexto internacional existen ciertos acuerdos y regulaciones sobre el uso de estas técnicas en células germinales y embriones, como el convenio de Oviedo (1997) o la declaración Universal sobre el Genoma y Derechos Humanos de la UNESCO (1997), o el protocolo de Cartagena para la regulación de organismos genéticamente modificados, es importante que en México se establezca una regulación y normativa adecuada del uso de estas tecnologías. En la actualidad la Ley general de Salud en el artículo 314 define conceptos como células germinales y embrión, pero no especifica ni profundiza en su uso [14-16]. Por otro lado, para regular la modificación genética de otros organismos tenemos en México la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, pero aún falta establecer las bases adecuadas para llevar a cabo estas técnicas [17].

Nos encontramos en una época de grandes retos y avances científicos, en donde la aplicación de la edición genética sigue siendo un reto desde el ámbito intelectual hasta el legal, por lo que es importante retomar esfuerzos para el uso adecuado de estas técnicas con el objetivo de promover su innovación, eficacia y seguridad. **BIO**

Glosario

Nucleasas: Son enzimas (ADNasas y ARNasas) que rompen cadenas de ADN o ARN.

Endonucleasas: Son enzimas que cortan internamente el ADN de doble cadena.

Retrotranscriptasa: Es una enzima de tipo ADN polimerasa que sintetiza ADN de doble cadena utilizando como molde ARN.

Homeostasis: Equilibrio que se da entre las comunidades de organismos y su medio ambiente.

Nicho ecológico: La suma de todos factores ambientales que pueden afectar o actuar sobre un organismo.

Enzimas de restricción: Nucleasas aislada de bacterias, que escinden secuencias de ADN mediante el reconocimiento de sitios específicos, generando fragmentos de ADN.

Referencias

- [1] Carroll, D., A short, idiosyncratic history of genome editing. *Gene and Genome Editing*, 2021. 1(100002).
- [2] Adli, M., The CRISPR tool kit for genome editing and beyond. *Nat Commun*, 2018. 9(1): p. 1911.
- [3] Gupta, R.M. and K. Musunuru, Expanding the genetic editing tool kit: ZFNs, TALENs, and CRISPR-Cas9. *J Clin Invest*, 2014. 124(10): p. 4154-61.
- [4] Li, H., et al., Applications of genome editing technology in the targeted therapy of human diseases: mechanisms, advances and prospects. *Signal Transduct Target Ther*, 2020. 5(1): p. 1.
- [5] Khalil, A.M., The genome editing revolution: review. *J Genet Eng Biotechnol*, 2020. 18(1): p. 68.
- [6] Anzalone, A.V., et al., Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA. *Nature*, 2019. 576(7785): p. 149-157.
- [7] Ricoch, A., Global developments of genome editing in agriculture. *Transgenic Res*, 2019. 28(Suppl 2): p. 45-52.
- [8] Reegan, A.D., et al., Current status of genome editing in vector mosquitoes: A review. *Biosci Trends*, 2017. 10(6): p. 424-432.
- [9] Xu, Y. and Z. Li, CRISPR-Cas systems: Overview, innovations and applications in human disease research and gene therapy. *Comput Struct Biotechnol J*, 2020. 18: p. 2401-2415.
- [10] Zhang, D., et al., Genome editing with the CRISPR-Cas system: an art, ethics and global regulatory perspective. *Plant Biotechnol J*, 2020. 18(8): p. 1651-1669.
- [11] Al-Balas, Q.A.E., R. Dajani, and W.K. Al-Delaimy, The Ethics of Gene Editing from an Islamic Perspective: A Focus on the Recent Gene Editing of the Chinese Twins. *Sci Eng Ethics*, 2020. 26(3): p. 1851-1860.
- [12] Caballero-Hernandez, D., Rodríguez-Padilla, C., & Lozano-Muñiz, S., Bioethics for Biotechnologists: From Dolly to CRISPR. *Open Agriculture*, 2017. 2(1): p. 160-165.
- [13] Kohl, P.A., et al., Public views about editing genes in wildlife for conservation. *Conserv Biol*, 2019. 33(6): p. 1286-1295.
- [14] Hall, R.T., & Medina Arellano, M. de J., Sobre la ética de una moratoria en edición genética humana. *Problema. Anuario de Filosofía Y Teoría Del Derecho*. 2021. 1(15), 485.
- [15] Olivo Yépez, Á., Linares Márquez, P., Suárez Guerrero, A. I., & Aguirre Guzmán, A. M., Estatuto ontológico del embrión humano como persona: Una perspectiva desde la investigación biológica en América Latina. *Acta Bioethica*, 2016. 22(2): p. 195-202.
- [16] Diputados, C., Congreso De, D., & Unión, L., Ley General de Salud. 2022.
- [17] Merino, A.G., Desafíos en la regulación de la biotecnología agrícola moderna en México: el caso de la edición de genes. *Alegatos*, 2021. 0(98): p. 195-210.

Hot Science

Antibióticos en peligro de extinción

Streptomyces: Fábrica de nuevas moléculas antimicrobianas

Fernanda Jocely Calderón de la Sancha

Doctorado en Biotecnología.
Universidad Autónoma Metropolitana.

jocely.cd@gmail.com

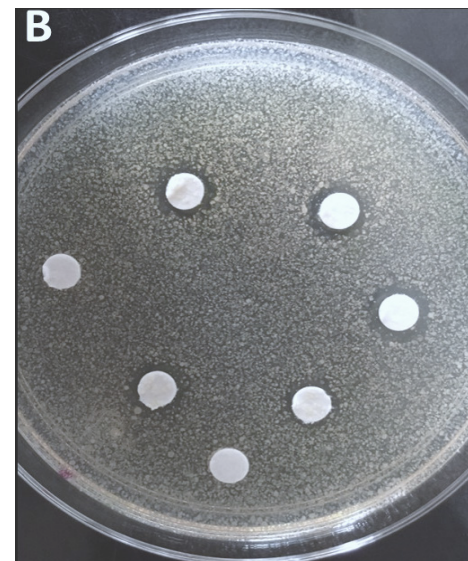
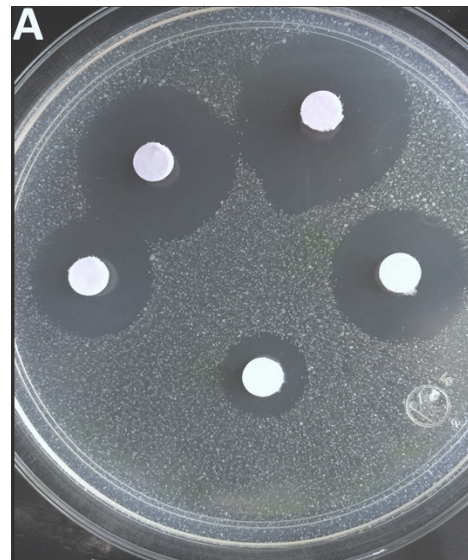


Figura 1. Grado de sensibilidad o resistencia, representado a través de zonas de inhibición del crecimiento bacteriano (halo).

A) Bacterias susceptibles a un antibiótico (presencia de halo); B) Bacterias resistentes al antibiótico (ausencia de halo).

Fuente: Elaboración propia.

La evolución se hace presente a nivel microbiológico y lo observamos a través del problema de resistencia antimicrobiana (RAM). Se trata de cambios genéticos que tienen los microorganismos que originalmente eran susceptibles a ciertos antibióticos y actualmente han adquirido la capacidad de reproducirse aun en presencia de estos (Fig. 1) [1]. La RAM ocurre de manera natural; sin embargo, las extraordinarias capacidades genéticas de los microorganismos se han beneficiado de factores sociales como la automedicación y el uso excesivo de antibióticos, provocando múltiples mecanismos de resistencia en los microorganismos patógenos (Fig. 2) [2].

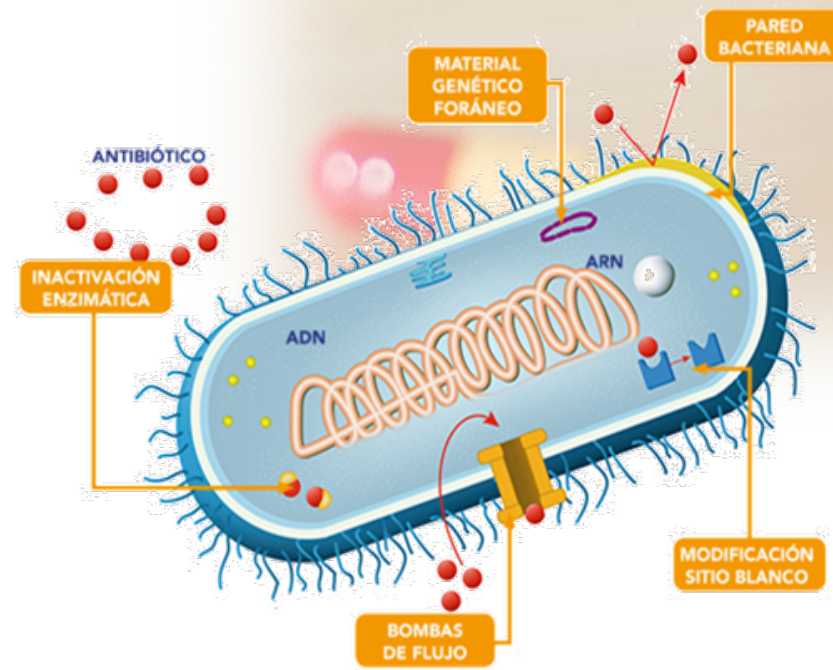


Figura 2. Mecanismos de resistencia bacteriana a los antibióticos. Imagen tomada de https://viresa.com.mx/blog_resistencia_bacteriana.



Figura 3. Factores que influyen en la propagación de la resistencia a antibióticos. Fuente: Elaboración propia.

En la medicina humana, la automedicación, la interrupción de los tratamientos y el uso indiscriminado de antibióticos son factores que ponen al microorganismo patógeno en un ambiente propicio para lograr su adaptación y resistencia. El sector veterinario también se ve afectado por la RAM, al ser el hombre quien se encarga del suministro de antibióticos en animales.

Por su parte, en el sector agrícola, el uso descontrolado de productos químicos utilizados para combatir a bacterias fitopatógenas como *Xanthomonas campestris*, *Clavibacter michiganensis*, *Pseudomonas syringae*, entre otras, es otro problema que ha provocado el aumento de la RAM.

Al mismo tiempo, el medio ambiente sufre las consecuencias provocadas por los sectores anteriormente mencionados, pues en el caso del ser humano, los antibióticos son desechados ya sea por su metabolismo incompleto o simplemente por el desecho incorrecto en aguas residuales; la consecuencia de la liberación de grandes cantidades de antibióticos en el ambiente provoca la adaptación de los microorganismos que se encuentran en ese entorno. Además, las aguas residuales contienen microorganismos resistentes que son desechados a través de actividades agrícolas y animales [3].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) advierte que se acerca un periodo en el que las infecciones bacterianas ya no podrán tratarse con antibióticos convencionales y declara el problema de RAM como una de las 10 principales amenazas a las que se enfrenta el mundo [4,5].

De acuerdo con Ramanan Laxminarayan del Center for Disease Dynamics, Economics & Policy: "Evidentemente, nos estamos enfrentando con una pandemia silenciosa debido al aumento de microorganismos resistentes y la extinción de los antibióticos convencionales" [6].

El desafío actual es encontrar soluciones pertinentes para frenar el desarrollo de la resistencia a antibióticos, se podría lograr a través de una participación multisectorial, involucrando principalmente a:

- La **sociedad civil**, a través de la concientización sobre la problemática actual, sobre las consecuencias que están provocando acciones como la automedicación de antibióticos y/o la interrupción de tratamientos, además de que se deben implementar al máximo las medidas de higiene en la población en aras de evitar o reducir infecciones.
- El **sector político-económico**, para que impulse el desarrollo de proyectos para la

obtención de nuevas moléculas antimicrobianas que permitan hacer frente al problema.

- La **comunidad científica**, a través de la búsqueda y desarrollo de nuevas moléculas antimicrobianas que sustituyan o complementen a los antibióticos actuales.

La mayoría de los antibióticos utilizados actualmente en medicina, veterinaria y agricultura, se obtuvieron a partir de bacterias del género *Streptomyces* entre el año 1940 y 1962 [7].

Streptomyces es un género de bacterias aerobias, Gram-positivas, perteneciente al filo *Actinobacteria*; se encuentran en ambientes tanto terrestres como acuáticos. Además de su relevancia en la producción de antibióticos convencionales como estreptomycin, neomicina, kanamicina, kasugamicina, entre otros (Fig. 4) [8]; algunas especies también producen péptidos antimicrobianos (PAM), por ejemplo, ohmyungamicinas A y B, arilomicina A6 y sLRPL19 [9, 10, 11]. Los PAM son otro tipo de moléculas antimicrobianas consideradas una alternativa para superar los desafíos relacionados con la RAM, debido a que tienen mecanismos de acción diferentes a los antibióticos convencionales [5]. Además, algunas especies producen enzimas de interés industrial (amilasas, proteasas, celulasas, quitinasas). Otras características interesantes que tienen son que juegan un papel importante en la promoción del crecimiento vegetal, la promoción de la sanidad vegetal y la degradación de residuos orgánicos [12]. Por estas razones las especies del género *Streptomyces* son consideradas fábricas de moléculas bioactivas de interés industrial.

La búsqueda de nuevos antibióticos ha revitalizado el campo de investigación de *Streptomyces* que, a pesar de que el índice de descubrimiento de antibióticos se redujo a partir del año 1980, actualmente existen herramientas como la Minería genómica que permite la predicción de grupos de genes biosintéticos de metabolitos secundarios (GGBms) silenciosos.

Estos son grupos de genes que se encuentran en el genoma del microorganismo, sin embargo, bajo condiciones de laboratorio (cultivo axénico) se mantienen inactivos debido a que el microorganismo no está en un ambiente que favorece su expresión [13, 14].

El análisis del genoma de *Streptomyces*

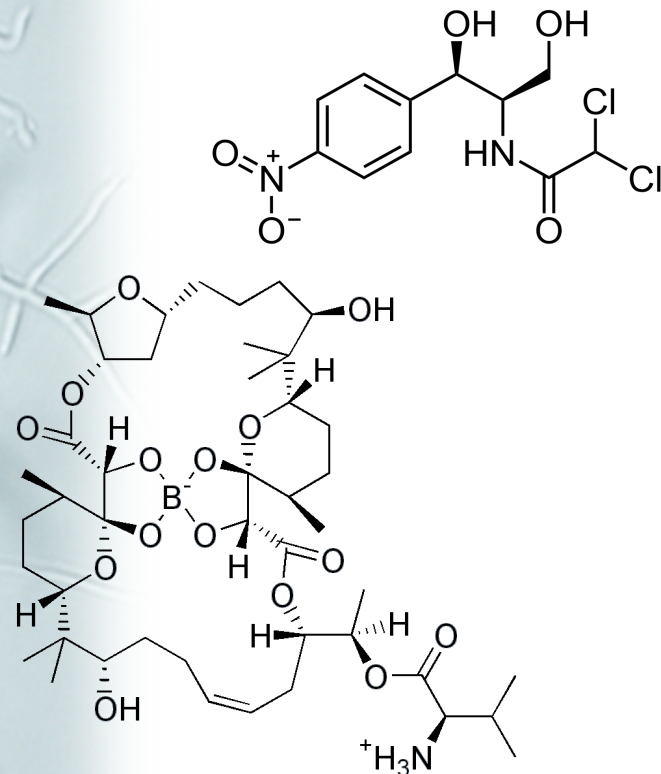


Figura 4. Ejemplos de antimicrobianos producidos por especies del género *Streptomyces*. Arriba, cloranfenicol, producido por *S. venezuelae*; abajo, boromicina, producida por *S. antibioticus*.

mediante minería genómica ha revelado que estos microorganismos contienen más de 30 GGBms. Sin embargo, la expresión de la mayoría de estos grupos de genes es críptica o silenciosa, encontrándose solo entre 2 y 3 metabolitos secundarios en condiciones de laboratorio. Esto sugiere que se necesitan ciertos métodos para acceder al potencial biosintético de nuevos antibióticos, por ejemplo, la modificación de condiciones de cultivo o nutrientes y/o la implementación de inductores químicos que activen el metabolismo secundario de los microorganismos [14].

Si bien, el descubrimiento de antibióticos ha ido en declive en las últimas décadas, las herramientas actuales nos ofrecen un panorama alentador. De esta manera, la identificación de GGBms silenciosos, los métodos para inducir para la expresión de estos, la purificación de los productos finales, y la caracterización física, química y funcional, forman una estrategia prometedora para la obtención de nuevos antimicrobianos. **BIO**

Referencias

- [1] Reygaert, W. C. (2018). An overview of the antimicrobial resistance mechanisms of bacteria. *AIMS Microbiology*, 4(3), 482–501. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.3.482>
- [2] Davies, J., Davies, D. (2010). Origins and evolution of Antibiotic Resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 74(3), 417–433. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00016-10>.
- [3] Prestinaci, F., Pezzotti, P., y Pantosti, A. (2015). Antimicrobial resistance: A global multifaceted phenomenon. *Pathogens and Global Health* 109(7), 309–318. <https://doi.org/10.1179/2047773215Y.0000000030>
- [4] Organización Mundial de la Salud (2019). Antimicrobial resistance. Executive Board, 144. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/328113>
- [5] Büyükkiraz, E. M., y Kesmen, Z. (2022). Antimicrobial peptides (AMPs): A promising class of antimicrobial compounds. *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 1573–1596. <https://doi.org/10.1111/jam.15314>
- [6] Laxminarayan R. (2022). The overlooked pandemic of antimicrobial resistance. *The Lancet*. 399, 606–607. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)00087-3).
- [7] Lee, N., Hwang, S., Kim, J., Cho, S., Palsson, B., y Cho, B. K. (2020). Mini review: Genome mining approaches for the identification of secondary metabolite biosynthetic gene clusters in *Streptomyces*. *Computational and Structural Biotechnology Journal* 18, 1548–1556. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.06.024>
- [8] Procópio, R. E., Silva, I. R., Martins, M. K., Azevedo, J. L., & Araújo, J. M. (2012). Antibiotics produced by *Streptomyces*. *The Brazilian journal of infectious diseases : an official publication of the Brazilian Society of Infectious Diseases*, 16(5), 466–471. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2012.08.014>
- [9] Um, S., Choi, T. J., Kim, H., Kim, B. Y., Kim, S. H., Lee, S. K., Oh, K. B., Shin, J., y Oh, D. C. (2013). Ohmyungamicins A and B: cytotoxic and antimicrobial cyclic peptides produced by *Streptomyces* sp. from a volcanic island. *The Journal of organic chemistry*, 78(24), 12321–12329.
- [10] Rao, M., Wei, W., Ge, M., Chen, D., y Sheng, X. (2013). A new antibacterial lipopeptide found by UPLC-MS from an actinomycete *Streptomyces* sp. HCCB10043. *Natural product research*, 27(23), 2190–2195. <https://doi.org/10.1080/14786419.2013.811666>
- [11] Calderón-de la Sancha, F.J., Carrasco-Navarro, U., Santander, G. Barrios-González J., y Mejía A. (2022). Novel antimicrobial activity of protein produced by *Streptomyces lividans* TK24 against the phytopathogen *Clavibacter michiganensis*. *Archives of Microbiology*, 204, 687. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03290-1>
- [12] Gopalakrishnan S, Srinivas V, Prasanna SL (2020) *Streptomyces*. Beneficial Microbes in Agro-Ecology. *Academic Press*, 55–71. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00005-8>.
- [13] Lee, N., Hwang, S., Lee, Y., Cho, S., Palsson, B., y Cho, B. K. (2019). Synthetic biology tools for novel secondary metabolite discovery in *Streptomyces*. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 29(5), 667–686. <https://doi.org/10.4014/jmb.1904.04015>
- [14] Onaka, H. (2017). Novel antibiotic screening methods to awaken silent or cryptic secondary metabolic pathways in actinomycetes. *Journal of Antibiotics*, 70(8), 865–870. <https://doi.org/10.1038/ja.2017.51>

Amano, S., Miyadob, S. y Shomura, T. (2017). *Streptomyces griseus* color enhanced scanning electron micrograph. *Actinomycetes Society of Japan*. Licencia Creative Commons: CC BY-SA 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Nanomateriales de fibras vegetales

¿Cómo reutilizar lo que la naturaleza nos provee?

Santiago José Guevara-Martínez*
Mary Keiby Hernández-Trejo²

¹Instituto de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.
²Universidad de Especialidades, Guadalajara, Jalisco.

*Autor para la correspondencia: sj.guemtz.89@gmail.com

La nanotecnología es una ciencia relativamente nueva la cual se enfoca en estudiar, analizar, estructurar, diseñar y operar materiales a escalas de 10^{-9} m (por lo que, a los materiales estudiados a esta escala los llamamos nanomateriales). Estos se han explorado en gran medida en las últimas décadas en el área de desarrollo de procesos y según su proceso de obtención, se pueden englobar en dos tipos: *Top-down*, que es la metodología en la cual se parte de un material macroscópico para irse dividiendo a su vez, hasta alcanzar nanopartículas, y el *Bottom-up* que, de manera inversa, se inicia con cantidades mínimas de átomos o partículas las cuales se van reordenando para generar el nanomaterial

(Figura 1). Ambas técnicas proporcionan amplias posibilidades para la síntesis de diversas nanoestructuras [1].

Existe una gran variabilidad tecnológica enfocada al desarrollo de nuevos materiales con procesos de producción orientados a cubrir diversas necesidades, implementando modificaciones en las escalas estructurales. Un ejemplo de ello es la diversidad de fibras vegetales en nuestro país, las cuales sirven de materia prima para el desarrollo de biomateriales novedosos encaminados a la síntesis verde, con aplicaciones en áreas como la

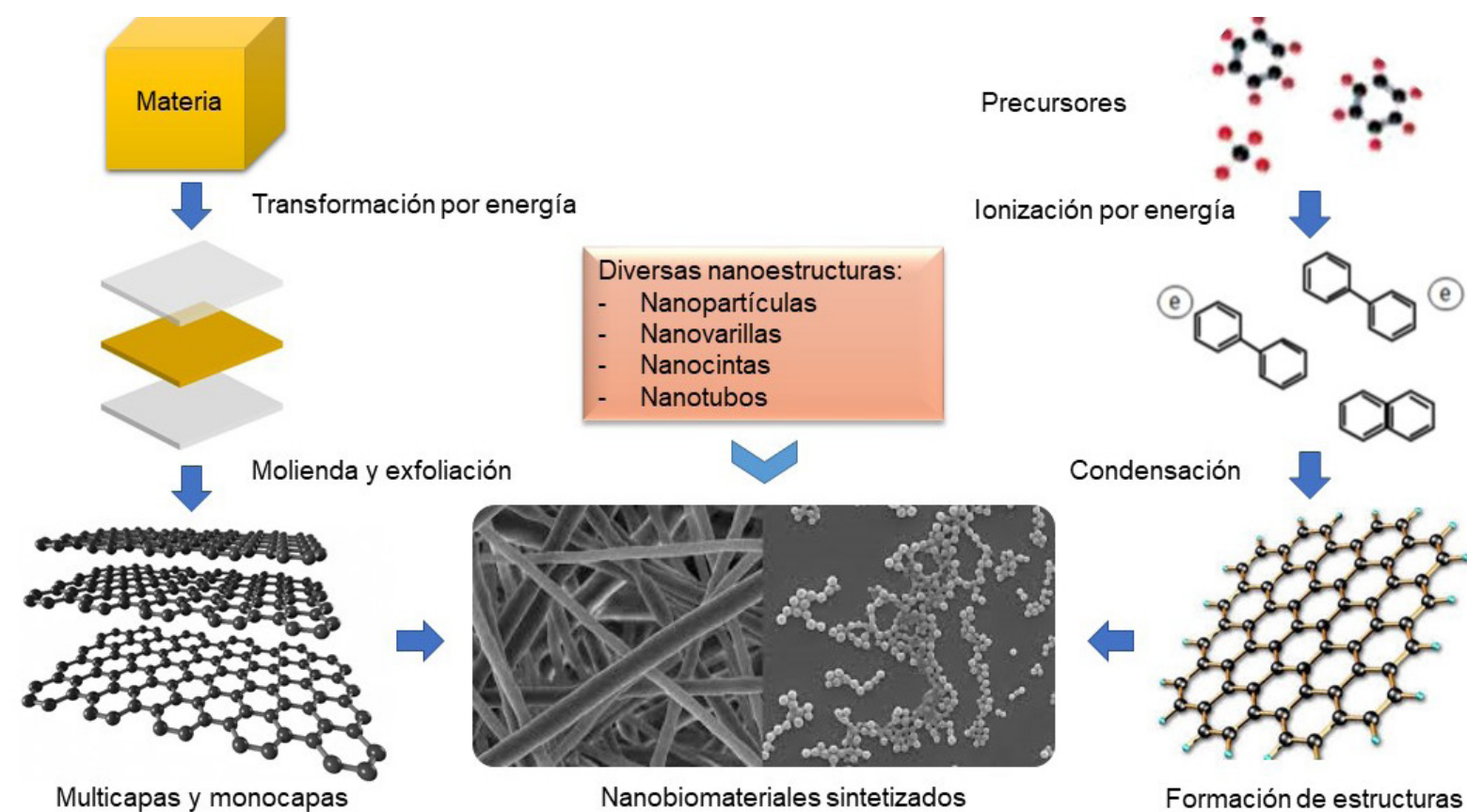


Figura 1. Técnicas de síntesis de nanomateriales. Del lado izquierdo se muestra la técnica Top-down que parte de material macroscópico para irse dividiendo hasta obtener el material de interés. Del lado derecho se muestra la técnica Bottom-up que consiste en utilizar precursores pequeños para sintetizar un material de dimensiones mayores.




Figura 2. Fibra de cáscara de coco

farmacéutica, biotecnología y nanofarmacia. Tal es el caso de la creación de un inhibidor de la desacetilasa de histona, a partir de nanopartículas de almidón, el cual ayuda a combatir el cáncer de mama [1, 2].

Algunas fibras como la de agave, la caña de azúcar y la cáscara de coco o eucalipto, son materiales naturales a los cuales se les pueden atribuir amplias aplicaciones. Esto mismo sucede con muchos desechos o subproductos industriales que se encuentran compactados y estructurados en mezcla con algunos otros compuestos de interés, ejemplo de ello es la celulosa, lignina y almidón. Este último es un biopolímero encontrado en la naturaleza como parte de los metabolitos de diversas plantas y frutos, ha sido utilizado en síntesis de nanopartículas de almidón (NAPs). Estas pueden generarse por medio de hidrólisis ácida o enzimática, irradiaciones gamma, precipitación simple, ultrasonicación y diversos tratamientos de homogeneización. El proceso dependerá de la utilidad para la cual se tiene destinada la nanopartícula. Actualmente, pueden desarrollarse para su uso como materiales de refuerzo, como

estabilizantes de emulsiones, síntesis de novedosos fármacos o diseño de excipientes biodegradables [3].

Las NPAs pueden ser empleadas como vehículo de liberación controlada en diversos principios activos para formas farmacéuticas los cuales pueden ser empleados en áreas como la medicina, biotecnología, cosmetología y la industria alimentaria [4].

Otro caso de interés son las nanopartículas de lignina (LNP), las cuales se pueden obtener con el método *bottom-up* en un sistema solvente-antisolvente, así como con un enfoque *top-down* basado en la ultrasonicación de suspensiones acuosas de lignina. El uso de LNP es implementado para adhesivos de madera y subproductos de pegamentos biodegradables. Además, se han presentado reportes como agente antioxidante, el cual es susceptible a la oxidación debido a la variación de insaturaciones en las cadenas de ácidos grasos del nanomaterial o bien en el desarrollo de bioplásticos de grado alimenticio los cuales han presentado un gran auge por sus propiedades de biodegradación [5]. 

Referencias

- [1] Abid, N., Khan, A. M., Shujait, S., Chaudhary, K., Ikram, M., Imran, M., ... & Maqbool, M. (2021). Synthesis of nanomaterials using various top-down and bottom-up approaches, influencing factors, advantages, and disadvantages: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 102597.
- [2] Alp, E., Damkaci, F., Guven, E., & Tenniswood, M. (2019). Starch nanoparticles for delivery of the histone deacetylase inhibitor CG-1521 in breast cancer treatment. *International Journal of Nanomedicine*, 14, 1335.

- [3] LI, C., LI, Y., SUN, P. & YANG, C. (2012). Starch nanocrystals as particle stabilizers of oil-in-water emulsions. *Journal of Science of Food Agriculture*, 94, 1802-1807
- [4] Tao, X., Zhan, L., Huang, Y., Li, P., Liu, B., & Chen, P. (2022). Preparation, characterization and evaluation of capsaicin-loaded indica rice starch nanoparticles. *Food Chemistry*, 386, 132692.
- [5] Henn, K. A., Forssell, S., Pietiläinen, A., Forsman, N., Smal, I., Nousiainen, P., ... & Österberg, M. (2022). Interfacial catalysis and lignin nanoparticles for strong fire-and water-resistant composite adhesives. *Green Chemistry*, 24(17), 6487-6500.



Figura 2. Fibra de agave

Hot Science

Terapias dirigidas

Un nuevo panorama en el tratamiento del Cáncer de Pulmón

Saé Muñiz Hernández ^{1,*}
Juan M. Hernández Martínez ^{1,2,3}
Oscar Arrieta ²

¹Laboratorio de Oncología Experimental, Subdirección de Investigación Básica, Instituto Nacional de Cancerología, CP 14080, Ciudad de México

²Unidad de Oncología Torácica, Instituto Nacional de Cancerología, CP 14080, Ciudad de México

³CONACyT-Instituto Nacional de Cancerología San Fernando No. 22, Col. Sección XVI, Tlalpan CP. 14080

*Autor de correspondencia: sayide@hotmail.com

Es innegable que el cáncer de pulmón (CP) es un problema importante de salud pública en México y en el mundo. En el 2020, en nuestro país, se registraron 7,588 casos nuevos y 7,100 muertes, siendo la cuarta causa de mortalidad por cáncer [1]. Ante esta situación es fundamental fortalecer las medidas de prevención primaria, implementar programas de diagnóstico oportuno y promover el acceso y el desarrollo de tratamientos más efectivos. El CP se origina cuando algunas células del pulmón sufren cambios genéticos y epigenéticos (modificaciones que no alteran la secuencia del ADN) que les permiten dividirse de manera descontrolada, invadir tejidos contiguos por extensión directa y, en ocasiones, migrar a otras partes del cuerpo donde pueden formar nuevos tumores [2].

Factores de riesgo

Una gran proporción de los casos de CP pueden atribuirse a factores de riesgo externos, como la exposición al humo de tabaco, al humo de leña, a contaminantes del aire y, a carcinógenos ocupacionales [3]. A diferencia de los factores intrínsecos (como la edad, el sexo biológico y la composición genética de las personas), los factores de riesgo externos pueden ser controlados para así reducir la incidencia del CP [4].

Una de las razones detrás de la alta mortalidad del CP es que la enfermedad es generalmente asintomática en etapas tempranas. Cuando los pacientes desarrollan síntomas y acuden al servicio médico, la gran mayoría son diagnosticados en etapas avanzadas, lo cual disminuye las posibilidades de que el tratamiento sea efectivo. Sin embargo, recientemente, se ha demostrado que la implementación de programas de detección oportuna en personas expuestas a

factores de riesgo conocidos, como el humo del tabaco, permite diagnosticar el CP en etapas clínicas tempranas y reducir el número de muertes [5].



Figura 1. El cáncer de pulmón se origina cuando algunas células del pulmón sufren cambios genéticos y epigenéticos que les permiten dividirse de manera descontrolada.

Blancos moleculares y terapias dirigidas

En los últimos 20 años, ha habido un enorme avance en nuestro entendimiento de la biología del CP. Como resultado, se han podido identificar moléculas específicas (“blancos moleculares”) que promueven el desarrollo y la progresión del cáncer, así como diseñar fármacos que modulen su actividad. Estos fármacos, comúnmente conocidos como “fármacos moleculares” o “terapias dirigidas”, han revolucionado el tratamiento de dicha neoplasia.

En la creciente lista de blancos moleculares con terapias dirigidas aprobadas para el CP se encuentran el EGFR (erlotinib, gefitinib, afatinib, dacomitinib, amivantamab-vmjw), ALK (crizotinib, alectinib, brigatinib), ROS1 (ceritinib, crizotinib, entrectinib), BRAF (dabrafenib), KRAS (sotrasib), NTRK1/2/3 (larotectinib, entrectinib), MET (capmatinib, crizotinib, tepotinib), RET (selpercatinib, pralsetinib, cabozantinib), HER2 (Fam-trastuzumab deruxtecan-nxki, Ado-trastuzumab emtansina), VEGFR (bevacizumab), entre otros [6].

La mayoría de estas terapias dirigidas están basadas en el uso de anticuerpos monoclonales (mAbs) y de medicamentos micromoleculares (“de molécula pequeña”). Los mAbs terapéuticos se unen a blancos específicos que se encuentran al exterior de las células. Los mecanismos de acción de los mAbs contra el cáncer son muy diversos e incluyen: a) modular la actividad de receptores membranales involucrados en diversas vías de señalización (proliferación, muerte, angiogénesis, etc.); b) bloquear la interacción entre un receptor y su ligando, c) transportar y liberar agentes citotóxicos en las células de cáncer que expresan un blanco molecular específico. Otros mAbs, se consideran inmunoterapias, debido a que permiten que el sistema inmune reconozca y destruya las células tumorales; por medio de la activación de la citotoxicidad mediada por complemento o por anticuerpos, así como la activación de células T y de mecanismos efectoras [7, 8].

Debido a su bajo peso molecular, los medicamentos de molécula pequeña son capaces de entrar en la célula, donde pueden actuar sobre su respectivo blanco. En el contexto del CP, los medicamentos de molécula pequeña que se utilizan como terapia dirigida son inhibidores de proteínas quinasas. Los nombres de estos medicamentos terminan con el sufijo “nib” (gefitinib, lorlatinib, crizotinib, etc.), que es una

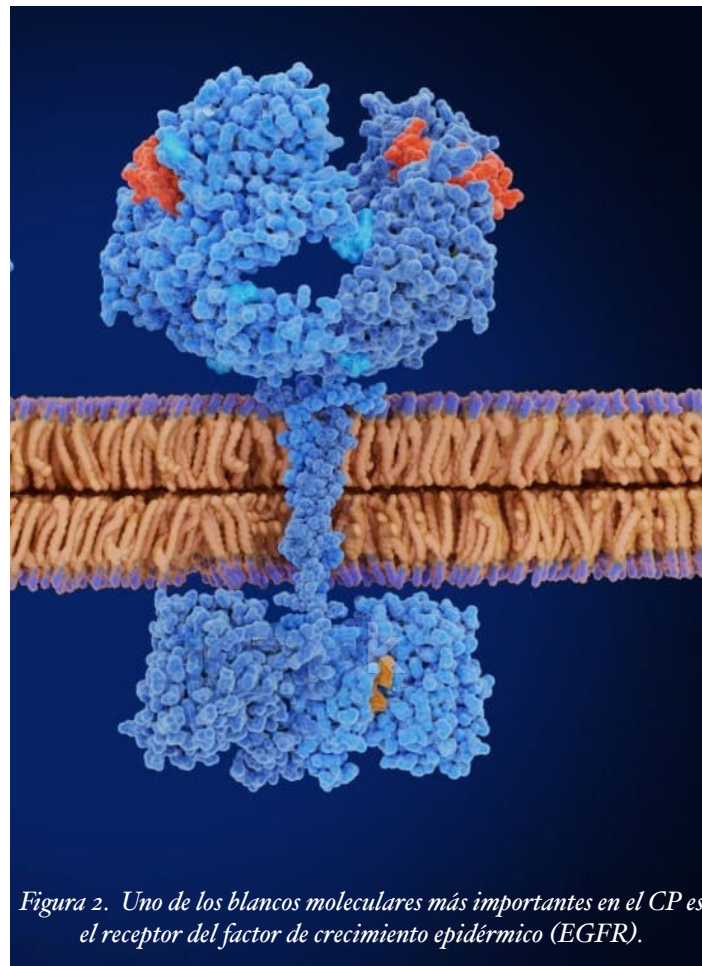


Figura 2. Uno de los blancos moleculares más importantes en el CP es el receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR).

abreviatura por contracción de “inhibir” [9]

Uno de los blancos moleculares más importantes en el CP es el receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR), el cual pertenece a la familia ErbB de receptores transmembranales de tirosina quinasa (Fig. 3A). La activación del EGFR promueve la proliferación de células epiteliales normales, pero en algunos tipos de CP este receptor se encuentra sobre-expresado o activado constitutivamente, lo cual favorece el crecimiento y la propagación de las células tumorales. En México, se ha estimado que aproximadamente el 34.4% de los pacientes con cáncer de pulmón no microcítico (CPNM) tienen tumores con mutaciones activadoras del gen *EGFR* [10].

El desarrollo clínico de terapias dirigidas contra el CP comenzó a finales de la década de los 90 con los ensayos de la primera generación de inhibidores de la tirosina quinasa (TKI's) del EGFR (Fig. 3B), como el gefitinib y erlotinib, [11-13]. En estos estudios se observaron, mayores tasas de respuesta en grupos de pacientes asiáticos, de sexo femenino, no fumadores y con histología de adenocarcinoma. De manera paralela se demostró formalmente que los tumores sensibles a la acción

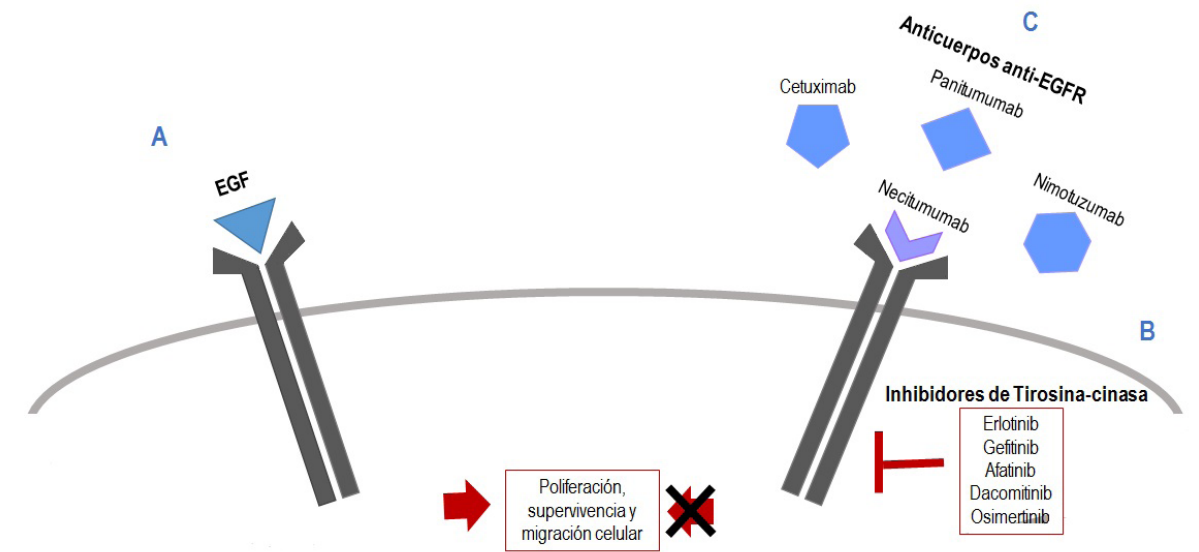


Figura 3. El Receptor de Crecimiento Epidérmico como blanco molecular en el cáncer de pulmón. A) El EGFR al unirse a su ligando (EGF) activa vías de proliferación, supervivencia y migración celular. B) Los anticuerpos anti-EGFR reconocen la región extracelular del receptor. C) Los inhibidores de tirosina-quinasa se unen al EGFR en la región intracelular del receptor, inhibiendo la activación de esta vía de señalización.

de los EGFR-TKI's, tienen mutaciones específicas en el gen que codifica para este receptor; siendo mayor la frecuencia de estas mutaciones en los grupos previamente mencionados [14, 15]. Posteriormente, se demostró que el tratamiento con EGFR-TKIs de primera generación incrementa las tasas de respuesta objetiva y la supervivencia libre de progresión (SLP), en comparación con la quimioterapia de primera línea en pacientes con CPNM cuyos tumores tienen mutaciones del *EGFR* [16-19].

Afatinib y dacomitinib son EGFR-TKIs de segunda generación que, a diferencia de los de primera generación, se unen irreversiblemente al EGFR y a otros miembros de la familia ErbB como a HER2/ERBB2 y HER4/ERBB4. El tratamiento con afatinib o dacomitinib ofrece una mayor SLP que gefitinib [20, 21]. Por su parte, afatinib también incrementó la supervivencia global (SG) en comparación con la quimioterapia en pacientes con CPNM que presentan deleciones del exón 19 del *EGFR* [22].

Lamentablemente, la mayoría de los pacientes tratados con EGFR-TKIs desarrollan resistencia, con una mediana de tiempo a la progresión de un año. Aproximadamente, en el 60% de los casos, la resistencia se debe a una mutación secundaria en el *EGFR* (T790M). Osimertinib, un EGFR-TKI de tercera generación, fue inicialmente aprobado como segunda línea terapéutica en pacientes con la mutación T790M que progresaron al tratamiento con gefitinib o erlotinib y,

posteriormente, como primera línea en pacientes con mutaciones sensibilizantes del *EGFR* o la mutación T790M [23]. Casi a la par que los EGFR-TKIs, se desarrollaron anticuerpos monoclonales que inhiben la actividad del EGFR (Fig. 3C). Los primeros anticuerpos anti-EGFR desarrollados fueron quimeras de secuencias ratón-humano, lo cual ocasionó numerosas reacciones adversas en los pacientes; sin embargo, hoy en día los anticuerpos son humanizados (con secuencia humana) de tal forma que las reacciones adversas han disminuido, favoreciendo la respuesta del paciente. Actualmente, cetuximab, panitumumab y nimotuzumab están aprobados para el tratamiento del carcinoma escamoso de cabeza y cuello y del cáncer colorrectal, mientras que necitumumab y amivantamab están aprobados para el tratamiento del CPNM [24].

Conclusión

Aunque durante mucho tiempo el CP ha sido considerado como una enfermedad de mal pronóstico que invariablemente lleva a la fase terminal y a la muerte, el panorama actual es más alentador. La detección de alteraciones en la expresión de proteínas y de genes involucrados con la patología de esta neoplasia, es ya una práctica rutinaria que permite caracterizar a los tumores con mayor precisión; además permite seleccionar esquemas terapéuticos personalizados. La introducción de terapias dirigidas en el área oncológica, ha mejorado la calidad de vida e incrementado la supervivencia libre de progresión y global en un gran

número de pacientes, con tasas de respuesta y de supervivencia a cinco años inusitadas. Estas terapias han abierto, por primera vez, la posibilidad de ofrecer tratamientos con intención curativa a pacientes con enfermedad metastásica. El desarrollo continuo de nuevos fármacos dirigidos brinda la esperanza de que cada vez más pacientes puedan recibir tratamientos exitosos.



Referencias

[1] Ferlay, J., Ervik, M., Lam, F., Colombet, M., Mery, L., Piñeros, M., Znaor, A., Soerjomataram, I., & Bray, F. (2022). Global Cancer Observatory: *Cancer Today*. International Agency for Research on Cancer. Retrieved 24 de Octubre 2022 from <https://gco.iarc.fr/today>

[2] Hanahan, D., & Weinberg, R. A. (2011). Hallmarks of cancer: the next generation. *Cell*, 144(5), 646-674. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013>

[3] Boffetta, P. (2018). Classic Epidemiology of Lung Cancer. In H. I. Pass, D. Ball, & G. V. Scagliotti (Eds.), *IASLC Thoracic Oncology* (pp. 1-8.e3). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-52357-8.00001-9>

[4] Arrieta, O., Lopez-Mejia, M., Macedo-Perez, E. O., & Corona-Cruz, J. F. (2016). Proposals for the prevention of lung cancer in the health system of Mexico. *Salud Publica Mex*, 58(2), 274-278. <https://doi.org/10.21149/spm.v58i2.7796>

[5] de Koning, H. J., van der Aalst, C. M., de Jong, P. A., Scholten, E. T., Nackaerts, K., Heuvelmans, M. A., Lammers, J. J., Weenink, C., Yousaf-Khan, U., Horeweg, N., van 't Westeinde, S., Prokop, M., Mali, W. P., Mohamed Hoessein, F. A. A., van Ooijen, P. M. A., Aerts, J., den Bakker, M. A., Thunnissen, E., Verschakelen, J., . . . Oudkerk, M. (2020). Reduced Lung-Cancer Mortality with Volume CT Screening in a Randomized Trial. *N Engl J Med*, 382(6), 503-513. <https://doi.org/10.1056/NEJMoA1911793>

[6] Ettinger, D. S., Wood, D. E., Aisner, D. L., Akerley, W., Bauman, J. R., Bharat, A., Bruno, D. S., Chang, J. Y., Chirieac, L. R., D'Amico, T. A., DeCamp, M., Dilling, T. J., Dowell, J., Gettinger, S., Grotz, T. E., Gubens, M. A., Hegde, A., Lackner, R. P., Lanuti, M., . . . Hughes, M. (2022). Non-Small Cell Lung Cancer, Version 3.2022, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J Natl Compr Canc Netw*, 20(5), 497-530. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2022.0025>

[7] Chan, B. A., & Hughes, B. G. (2015). Targeted therapy for non-small cell lung cancer: current standards and the promise of the future. *Transl Lung Cancer Res*, 4(1), 36-54. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2218-6751.2014.05.01>

[8] Mahoney, K. M., Rennert, P. D., & Freeman, G. J. (2015). Combination cancer immunotherapy and new immunomodulatory targets. *Nat Rev Drug Discov*, 14(8), 561-584. <https://doi.org/10.1038/nrd4591>

[9] Tebbutt, N., Pedersen, M. W., & Johns, T. G. (2013). Targeting the ERBB family in cancer: couples therapy. *Nat Rev Cancer*, 13(9), 663-673. <https://doi.org/10.1038/nrc3559>

[10] Arrieta, O., Cardona, A. F., Martin, C., Mas-Lopez, L., Corrales-Rodriguez, L., Bramuglia, G., Castillo-Fernandez, O., Meyerson, M., Amieva-Rivera, E., Campos-Parra, A. D., Carranza, H., Gomez de la Torre, J. C., Powazniak, Y., Aldaco-Sarvide, F., Vargas, C., Trigo, M., Magallanes-Maciel, M., Otero, J., Sanchez-Reyes, R., & Cuello, M. (2015). Updated Frequency of EGFR and KRAS Mutations in NonSmall-Cell Lung Cancer in Latin America: The Latin-American Consortium for the Investigation of Lung Cancer (CLICaP). *J Thorac Oncol*, 10(5), 838-843. <https://doi.org/10.1097/JTO.0000000000000481>

[11] Fukuoka, M., Yano, S., Giaccone, G., Tamura, T., Nakagawa, K., Douillard, J. Y., Nishiwaki, Y., Vansteenkiste, J., Kudoh, S., Rischin, D., Eek, R., Horai, T., Noda, K., Takata, I., Smit, E., Averbuch, S., Macleod, A., Feyereislova, A., Dong, R. P., & Baselga, J. (2003). Multi-institutional randomized phase II trial of gefitinib for previously treated patients with advanced non-small-cell lung cancer (The IDEAL 1 Trial) [corrected]. *Journal of Clinical Oncology*, 21(12), 2237-2246. <https://doi.org/10.1200/JCO.2003.10.038>

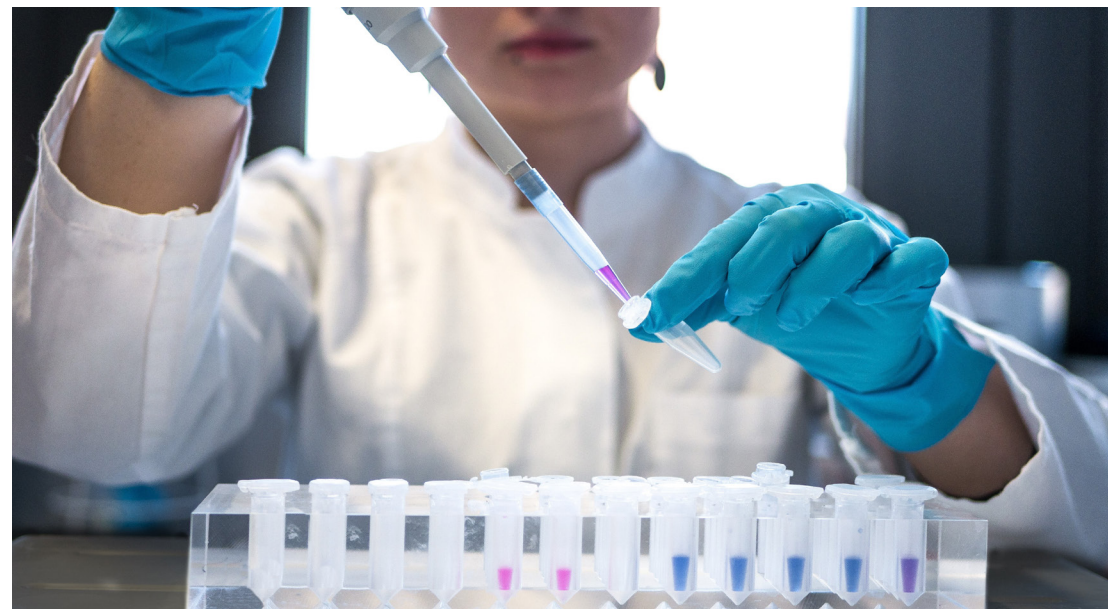


Figura 4. El desarrollo de nuevos fármacos dirigidos brinda la esperanza de que cada vez más pacientes puedan recibir tratamientos exitosos.

[12] Shepherd, F. A., Rodrigues Pereira, J., Ciuleanu, T., Tan, E. H., Hirsh, V., Thongprasert, S., Campos, D., Maoleekoonpiroj, S., Smylie, M., Martins, R., van Kooten, M., Dediu, M., Findlay, B., Tu, D., Johnston, D., Bezjak, A., Clark, G., Santabarbara, P., Seymour, L., & National Cancer Institute of Canada Clinical Trials, G. (2005). Erlotinib in previously treated non-small-cell lung cancer. *N Engl J Med*, 353(2), 123-132. <https://doi.org/10.1056/NEJMoA050753>

[13] Kris, M. G., Natale, R. B., Herbst, R. S., Lynch, T. J., Jr., Prager, D., Belani, C. P., Schiller, J. H., Kelly, K., Spiridonidis, H., Sandler, A., Albain, K. S., Cella, D., Wolf, M. K., Averbuch, S. D., Ochs, J. J., & Kay, A. C. (2003). Efficacy of gefitinib, an inhibitor of the epidermal growth factor receptor tyrosine kinase, in symptomatic patients with non-small cell lung cancer: a randomized trial. *JAMA*, 290(16), 2149-2158. <https://doi.org/10.1001/jama.290.16.2149>

[14] Lynch, T. J., Bell, D. W., Sordella, R., Gurubhagavatula, S., Okimoto, R. A., Brannigan, B. W., Harris, P. L., Haserlat, S. M., Supko, J. G., Haluska, F. G., Louis, D. N., Christiani, D. C., Settleman, J., & Haber, D. A. (2004). Activating mutations in the epidermal growth factor receptor underlying responsiveness of non-small-cell lung cancer to gefitinib. *N Engl J Med*, 350(21), 2129-2139. <https://doi.org/10.1056/NEJMoA040938>

[15] Paez, J. G., Janne, P. A., Lee, J. C., Tracy, S., Greulich, H., Gabriel, S., Herman, P., Kaye, F. J., Lindeman, N., Boggon, T. J., Naoki, K., Sasaki, H., Fujii, Y., Eck, M. J., Sellers, W. R., Johnson, B. E., & Meyerson, M. (2004). EGFR mutations in lung cancer: correlation with clinical response to gefitinib therapy. *Science*, 304(5676), 1497-1500. <https://doi.org/10.1126/science.1099314>

[16] Mok, T. S., Wu, Y. L., Thongprasert, S., Yang, C. H., Chu, D. T., Saijo, N., Sunpaweravong, P., Han, B., Margono, B., Ichinose, Y., Nishiwaki, Y., Ohe, Y., Yang, J. J., Chewaskulyong, B., Jiang, H., Duffield, E. L., Watkins, C. L., Armour, A. A., & Fukuoka, M. (2009). Gefitinib or carboplatin-paclitaxel in pulmonary adenocarcinoma. *N Engl J Med*, 361(10), 947-957. <https://doi.org/10.1056/NEJMoA0810699>

[17] Maemondo, M., Inoue, A., Kobayashi, K., Sugawara, S., Oizumi, S., Isobe, H., Gemma, A., Harada, M., Yoshizawa, H., Kinoshita, I., Fujita, Y., Okinaga, S., Hirano, H., Yoshimori, K., Harada, T., Ogura, T., Ando, M., Miyazawa, H., Tanaka, T., . . . North-East Japan Study, G. (2010). Gefitinib or chemotherapy for non-small-cell lung cancer with mutated EGFR. *N Engl J Med*, 362(25), 2380-2388. <https://doi.org/10.1056/NEJMoA0909530>

[18] Zhou, C., Wu, Y. L., Chen, G., Feng, J., Liu, X. Q., Wang, C., Zhang, S., Wang, J., Zhou, S., Ren, S., Lu, S., Zhang, L., Hu, C., Hu, C., Luo, Y., Chen, L., Ye, M., Huang, J., Zhi, X., . . . You, C. (2011). Erlotinib versus chemotherapy as first-line treatment for patients with advanced EGFR mutation-positive non-small-cell lung cancer (OPTIMAL, CTONG-0802): a multicentre,

open-label, randomised, phase 3 study. *Lancet Oncol*, 12(8), 735-742. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(11\)70184-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(11)70184-X)

[19] Rosell, R., Carcereny, E., Gervais, R., Vergnenegre, A., Massuti, B., Felip, E., Palmero, R., Garcia-Gomez, R., Pallares, C., Sanchez, J. M., Porta, R., Cobo, M., Garrido, P., Longo, F., Moran, T., Insa, A., De Marinis, F., Corre, R., Bover, I., . . . Associazione Italiana Oncologia, T. (2012). Erlotinib versus standard chemotherapy as first-line treatment for European patients with advanced EGFR mutation-positive non-small-cell lung cancer (EURTAC): a multicentre, open-label, randomised phase 3 trial. *Lancet Oncol*, 13(3), 239-246. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(11\)70393-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(11)70393-X)

[20] Paz-Ares, L., Tan, E. H., O'Byrne, K., Zhang, L., Hirsh, V., Boyer, M., Yang, J. C., Mok, T., Lee, K. H., Lu, S., Shi, Y., Lee, D. H., Laskin, J., Kim, D. W., Laurie, S. A., Kolbeck, K., Fan, J., Dodd, N., Marten, A., & Park, K. (2017). Afatinib versus gefitinib in patients with EGFR mutation-positive advanced non-small-cell lung cancer: overall survival data from the phase IIb LUX-Lung 7 trial. *Ann Oncol*, 28(2), 270-277. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdw611>

[21] Wu, Y. L., Cheng, Y., Zhou, X., Lee, K. H., Nakagawa, K., Niho, S., Tsuji, F., Linke, R., Rosell, R., Corral, J., Migliorino, M. R., Pluzanski, A., Sbar, E. I., Wang, T., White, J. L., Nadanaciva, S., Sandin, R., & Mok, T. S. (2017). Dacomitinib versus gefitinib as first-line treatment for patients with EGFR-mutation-positive non-small-cell lung cancer (ARCHER 1050): a randomised, open-label, phase 3 trial. *Lancet Oncol*, 18(11), 1454-1466. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30608-3](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30608-3)

[22] Yang, J. C., Wu, Y. L., Schuler, M., Sebastian, M., Popat, S., Yamamoto, N., Zhou, C., Hu, C. P., O'Byrne, K., Feng, J., Lu, S., Huang, Y., Geater, S. L., Lee, K. Y., Tsai, C. M., Gorbunova, V., Hirsh, V., Bannouna, J., Orlov, S., . . . Sequist, L. V. (2015). Afatinib versus cisplatin-based chemotherapy for EGFR mutation-positive lung adenocarcinoma (LUX-Lung 3 and LUX-Lung 6): analysis of overall survival data from two randomised, phase 3 trials. *Lancet Oncol*, 16(2), 141-151. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(14\)71173-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(14)71173-8)

[23] Ramalingam, S. S., Vansteenkiste, J., Planchard, D., Cho, B. C., Gray, J. E., Ohe, Y., Zhou, C., Reungwetwattana, T., Cheng, Y., Chewaskulyong, B., Shah, R., Cobo, M., Lee, K. H., Cheema, P., Tiseo, M., John, T., Lin, M. C., Imamura, F., Kurata, T., . . . Investigators, F. (2020). Overall Survival with Osimertinib in Untreated, EGFR-Mutated Advanced NSCLC. *N Engl J Med*, 382(1), 41-50. <https://doi.org/10.1056/NEJMoA1913662>

[24] Cai, W. Q., Zeng, L. S., Wang, L. F., Wang, Y. Y., Cheng, J. T., Zhang, Y., Han, Z. W., Zhou, Y., Huang, S. L., Wang, X. W., Peng, X. C., Xiang, Y., Ma, Z., Cui, S. Z., & Xin, H. W. (2020). The Latest Battles Between EGFR Monoclonal Antibodies and Resistant Tumor Cells. *Front Oncol*, 10, 1249. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.01249>

Científicos Notables

Dr. Benjamín Rodríguez Garay “Conservador de agaves”

Julio César López-Velázquez¹

¹CIATEJ, Tecnológico de Monterrey

*Autor para la correspondencia: juliolv@tec.mx

Jóvenes... ¿Ustedes que ven cuando se van a dormir?

Fue una de las tantas preguntas que hacía Benjamín en clases de posgrado, esperando que respondieras que veías el techo buscando figuras y si acertabas te decía que entonces tenías la capacidad para ser científico. ¡Y vaya que un gran científico es quien te lo decía!

Me permito presentar al Dr. Benjamín Rodríguez-Garay, quien es Ingeniero Agrónomo por la UdG, Maestro en Ciencias en Genética por el COLPOS y Doctor en Agronomía y Mejoramiento

Genético Vegetal por la Universidad Estatal de Nuevo México, EUA, donde realizó una estancia postdoctoral en el Laboratorio de Bioquímica e Ingeniería Genética. Desde 1988 se desempeñó como investigador en el CIATEJ, bajo la línea de investigación de Mejoramiento Genético y Micropropagación, hasta su jubilación en 2019. Desde 1991 es miembro del SNI, actualmente es Nivel II, en el campo de ciencias agronómicas y veterinarias. El Dr. Benjamín ha sido director de más de 15 tesis de licenciatura, 30 de maestría y 11 de doctorado. Actualmente, imparte clases de posgrado.



El Dr. Rodríguez siempre tuvo la intención de trabajar con mejoramiento genético de cultivos afectados por el cambio climático, pero los proyectos vigentes a lo largo de su formación académica no estaban financiados para esos temas. Fue hasta sus estudios postdoctorales en donde el Dr. Jerry Barrow lo invitó a participar en los temas que le apasionaban, entonces, trabajó con mejoramiento genético de algodón y su cultivo en condiciones controladas, lo que se conoce como cultivo *in vitro*, durante esta etapa el investigador se consolidó en el área de cultivo de tejidos vegetales, citogenética y microscopía (Rodríguez-Garay & Barrow, 1988).

Cuando el Dr. Benjamín se incorporó al CIATEJ, un pequeño grupo de trabajo, un diminuto laboratorio, con apenas una campana de flujo laminar, una autoclave y la intención de comprender los fenómenos de la *naturaleza*, fueron el motor para iniciar su vida como investigador y enfrentar los retos que estaban por venir y decidió trabajar con el que se convertiría su género favorito de plantas: los agaves.

En 1990 uno de los cultivos que se vio afectado por la destrucción de su hábitat y su uso como planta ornamental fue el *Agave victoriae-reginae*, la población de estos agaves se vio disminuida rápidamente y la necesidad de conservar la especie fue de interés para el Gobierno de México. Por tanto, el Dr. Rodríguez, a través del Instituto de Ecología obtuvo financiamiento para implementar un proyecto que tuviera como objetivo rescatar la especie de su extinción. Con su equipo de trabajo, lograron obtener plantas *in vitro* de *A. victoriae-reginae*, por medio de una técnica denominada embriogénesis somática, que se basa en el desarrollo de embriones asexuales a través de la manipulación de reguladores de crecimiento, es decir, las hormonas de las plantas (Rodríguez-Garay *et al.*, 1996). Este proyecto permitió conservar la especie y actualmente se encuentran en la colección de plantas del CIATEJ. A su vez esta investigación fue la base para trabajar con futuros proyectos relacionados al cultivo de agaves.

Con el paso del tiempo y siendo el Estado de Jalisco su lugar de origen y el sitio donde

trabajaba se enfrentó a un problema local, el cual fue relacionado con el *Agave tequilana* Weber var. Azul, la explotación de la planta como materia prima para la elaboración del tequila, demandaba la necesidad de hacer mejoras en el cultivo, entonces, basado en su experiencia implementó la embriogénesis somática, con lo cual contribuyó a la conservación de variedades elite a partir de hojas. Además, para optimizar el desarrollo y germinación de embriones de *A. tequilana* realizó distintos experimentos en donde evaluó el efecto de luz roja y blanca, así como diferentes medios de cultivo, donde brindó bases para la producción en masa de embriones somáticos de la especie (Rodríguez-Sahagún *et al.*, 2011). También estudió el comportamiento meiótico en las células madre del polen y su efecto en la viabilidad de este (Ruvalcaba-Ruiz & Rodríguez-Garay, 2002).

Otro de los problemas del *Agave tequilana* fue la susceptibilidad a plagas y enfermedades, que limitaron la producción de la planta, debido a que el agave requiere por lo menos 7 años de cultivo para su uso en la elaboración del tequila se puede ver afectada en sus diferentes etapas fenológicas, por cuestiones de tipo biótico y abiótico, por tanto, al tener experiencia en cultivo de tejidos y basado en la totipotencialidad celular, también trabajó con mejoramiento genético de *A. tequilana*, obteniendo distintas líneas celulares con resistencia a enfermedades causadas por bacterias y hongos que afectan al cultivo de agave y se desarrollaron protocolos para su regeneración *in vitro*, lo que favoreció a la industria del agave. El Dr. Rodríguez-Garay no solo aportó en las especies anteriormente descritas sino también trabajó con *Agave salmiana*, *angustifolia*, *colimana*, entre otros.

Sin lugar a duda, el investigador ha dejado una huella en sus investigaciones, siendo pionero en el cultivo de algunas especies de agave, actualmente sigue descubriendo nuevos horizontes: la cerámica.

El Dr. Rodríguez-Garay invita a las nuevas generaciones a no cerrarse al conocimiento de toda la naturaleza y el universo, es decir, siempre ve más allá de lo aprendido y mantén tu curiosidad. **iBIO**

Referencias

Rodríguez-Garay, B., & Barrow, J. R. (1988). Pollen Selection for Heat Tolerance in Cotton. *Crop Science*, 28(5), 857-859. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800050030x>

Rodríguez-Garay, B., Gutiérrez-Mora, A., & Acosta-Dueñas, B. (1996). Somatic embryogenesis of *Agave victoria-reginae* Moore. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 46(1), 85-87. <https://doi.org/10.1007/BF00039700>

Rodríguez-Sahagún, A., Acevedo-Hernández, G., Rodríguez-Domínguez, J. M., Rodríguez-Garay, B., Cervantes-Martínez, J., & Castellanos-Hernández, O. A. (2011). Effect of light quality and culture medium on somatic embryogenesis of *Agave tequilana* Weber var. Azul. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 104(2), 271-275. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9815-4>

Ruvalcaba-Ruiz, D., & Rodríguez-Garay, B. (2002). Aberrant meiotic behavior in *Agave tequilana* Weber var. Azul. *BMC Plant Biology*, 2(1), 10. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-2-10>



Jardines químicos

El arte de hacer ciencia

Saira Reyes Diego^{1*}
Jessica Sánchez-Vargas²

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, IPN.
²Instituto de investigaciones biomédicas, UNAM.

*Autor de correspondencia: saira.reyes.d@gmail.com

Aunque constantemente el ser humano intente replicar las obras maestras de la biología, el arte que nos ofrece la madre naturaleza es, sin duda, uno de los más hermosos e irremplazables que podemos hallar. Y es que, basta con voltear a ver un jardín repleto de flores para admirar la belleza que emana de sus colores tan diversos. Pero ¿qué pensarías si te digo que la química puede crear escenarios igual de coloridos y maravillosos, similares a un jardín? Suena un poco irreal ¿verdad? Pues esto es posible gracias al descubrimiento de Johan Rudolf Glauber, a quien se le considera el primer Proto Ingeniero Químico que además de descubrir el sulfato sódico en 1655, le dio vida al conocido *jardín químico* (figuras 1 y 2) en 1646 [1].

Esta técnica consiste básicamente en la formación de múltiples cristales a partir de una solución saturada de silicato, borato, fosfato o carbonato a la cual se le añaden sales metálicas [2].

Este jardín (o en algunos casos también llamado bosque) químico se forma a través de un proceso cíclico que provocan las sales metálicas al disolverse con la solución saturada, generalmente de silicato de sodio. Aquí, el metal reacciona con el silicato para formar un gel en forma de membrana semipermeable, lo que permite que el agua atraviese con facilidad. Por ósmosis, el agua va a internalizarse y a llenar la cavidad, lo que provoca que la membrana cristalice y comience a “inflarse” y acumular presión hasta que finalmente se rompe. En ese momento vuelven a mezclarse los metales y la solución de silicato sódico, lo que genera la formación de una nueva membrana de hidróxido metálico. Lo anterior se da principalmente hacia el eje vertical debido a la menor densidad del silicato metálico. Este proceso se lleva a cabo hasta formar lo que llamamos planta (figura 3) [3,4].



Figura 2. Jardín químico formado a partir de cloruro de cromo (III) en vaso con silicato de sodio disuelto en agua. Imagen de Tobias Kohler, <https://www.flickr.com/photos/x-tremebass/sets/72157632510441265/>

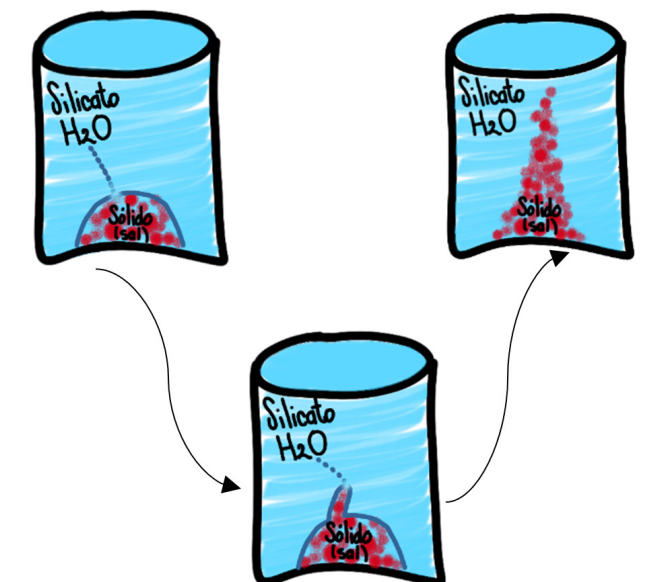


Figura 3. Proceso de la formación de las plantas en el jardín químico.

El fundamento de este experimento radica en que el silicato metálico es insoluble en agua. Mientras que su belleza es resultado, por un lado de la aleatoriedad en cantidad y dirección de los estallidos de las membranas formadas, y por el otro de los diferentes colores que son específicos para cada sal metálica. Además, hay que comprender que los cristales son sustancias complejas con una estructura interna muy ordenada entre sí.

Como se mencionó en el párrafo anterior, cada sal metálica da origen a una estructura parecida a una planta de un color diferente, pues cada una posee un color característico. Obteniendo así, un color **blanco** derivado del sulfato de aluminio y potasio; por otro lado, se visualiza un color **azul** gracias al sulfato de cobre; las estructuras **verdes** las genera el cloruro de cromo (III), el sulfato de níquel (II) y el sulfato de hierro (II); para obtener el **anaranjado** se utiliza al cloruro de hierro; lo que nos da lugar a un color **violeta** es el cloruro de cobalto (II) y en ocasiones por éste mismo también observamos el color **rojo**; por último, con el cloruro de manganeso (II) se observa un tono **rosa** (ver figura 3) [3,4].

Para este experimento, se añade en un frasco (transparente de preferencia, para visualizar los colores) el silicato sódico en solución y posteriormente los sulfatos metálicos. Al poco tiempo, empieza la formación de los cristales y se observa la aparición de las “ramas” del jardín. Sin embargo, hay que



Figura 4. Jardín químico formado a partir de sulfato de cobre, sulfato ferroso, cloruro férrico y cloruro de calcio en vaso con silicato de sodio disuelto en agua. Imagen de Tobias Kobler, <https://www.flickr.com/photos/x-tremebass/sets/72157632510441265/with/8421597756/>

recordar que este proceso es químico no biológico, por lo que no existe ninguna planta en realidad; aunque el resultado es sumamente vistoso y poco comparable con lo que observamos en nuestro entorno.

Estos jardines son muy parecidos a algunos sistemas presentes en la naturaleza tales como las chimeneas hidrotermales (ver figura 3) ubicadas en el fondo del océano, donde se cree que pudo originarse la vida en el planeta.

Así que, la próxima vez que entres a un laboratorio piensa que, al igual que la madre naturaleza, tú puedes crear maravilloso arte al realizar un jardín mientras aprendes y obtienes nuevos conocimientos, todo esto gracias a la Química. Recuerda que, como dice William Cowper “la ciencia es orgullosa por lo mucho que ha aprendido; la sabiduría es humilde porque

no sabe más.” Nunca dejes de enamorarte de la ciencia. **BIO**

Referencias

- [1] Canarias7. (2014). Aportan nuevos datos sobre los jardines químicos, cuya formación es un misterio para la ciencia. Obtenido de http://canal.ugr.es/wp-content/uploads/2014/11/canarias7es_Aportan_nuevos_datos_sobre_los_jardines_quimicos_cuya_formacin_es_un_misterio_para_la_ciencia.pdf
- [2] Johnson, M. (03 de Agosto de 2018). (No) Están Vivos: Jardines Químicos en el Espacio. Obtenido de NASA TV: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/Jardines_Quimicos_en_el_Espacio
- [3] JMGAV. (10 de Noviembre de 2012). Jardines Químicos. Obtenido de TRIPLNLACE: <https://triplenlace.com/2012/11/10/jardines-quimicos/>
- [4] Gabinet de Didáctica del Jardín Botánico. (10 de Octubre de 2011). Un bosque químico. Obtenido de Revista Método: <https://metode.es/revistas-metode/secciones/jardin-animado/un-bosque-quimico.html>



Figura 5. Jardín químico formado a partir de nitrato de cobalto y sulfato de cobre en vaso con silicato de sodio disuelto en agua. Imagen de Tobias Kohler, <https://www.flickr.com/photos/x-tremebass/sets/72157632510441265/with/8421597756/>

¿Y ahora

qué?



Sobre mi improbable camino científico

José Flores Uribe

Instituto Max Planck para la Investigación de la Mejora Vegetal,
Colonia, Alemania
En twitter: @ppflrs

Mi objetivo inicial al entrar a UPIBI era terminar y trabajar en la industria, pero poco sabía yo lo que se avecinaba. El separarme de mi familia y mudarme a la CDMX afectó gravemente mi rendimiento académico. Después de un difícil primer semestre, noté que necesitaba cambiar mi enfoque. Con disciplina y mucha ayuda de mis amigos, logré mejorar mi comprensión de los temarios, además de aprender a usar mis habilidades para resolver problemas en las nuevas materias.

Con esfuerzo y muchos sietes u ochos, por los que batallé mucho, finalmente regularicé mi situación escolar. Poco después tuve un gran cambio en mi concepción de la biotecnología gracias a las clases del Prof. Agustín Badillo, donde aprendí sobre proteínas recombinantes, lo que me despertó el interés por la investigación científica. A pesar de no ser el mejor estudiante, me arriesgué a pedirle la oportunidad de unirme a su equipo de trabajo y afortunadamente aceptó y solo pensar que por mi timidez casi no me atreví a preguntárselo!

Empecé por el servicio social para evaluar si era un buen match para el grupo y viceversa. Comencé limpiando el laboratorio, lavando material y preparando medios de cultivo; lo que me hizo apreciar la importancia del trabajo en equipo y la división de labores en la ciencia. Ahí formé amistades valiosas lo que hizo los días más agradables y enriquecedores: además de discutir resultados y resolver problemas experimentales, también íbamos al cine o salíamos por tacos.

Después continúe en el mismo grupo primero para terminar la licenciatura y estudiar la maestría. En esos proyectos aprendí desde técnicas de biología molecular hasta el manejo de **bacteriófagos** o microalgas como *Chlamydomonas reinhardtii* (Figura 1).

En la maestría, obtuve imágenes de *C. reinhardtii* por microscopía electrónica y para sacarles el máximo provecho decidí analizarlas computacionalmente. Para ello, tuve que aprender a programar macros de ImageJ por mi cuenta, lo que me llevó más tiempo del que me hubiera tomado hacer la tarea de forma manual iups!. Aun así, valió la pena ya que el análisis fue muy

bien recibido en mi defensa de tesis y me ayudó a desarrollar habilidades que todavía sigo usando actualmente. Sin saberlo, experiencias como esta sentaron las bases de mi carrera en bioinformática.

Al final de mi maestría, un amigo me habló de un doctorado en **metagenómica** en el laboratorio del Prof. Oded Beja (Technion, Israel) financiado por la Unión Europea a través del

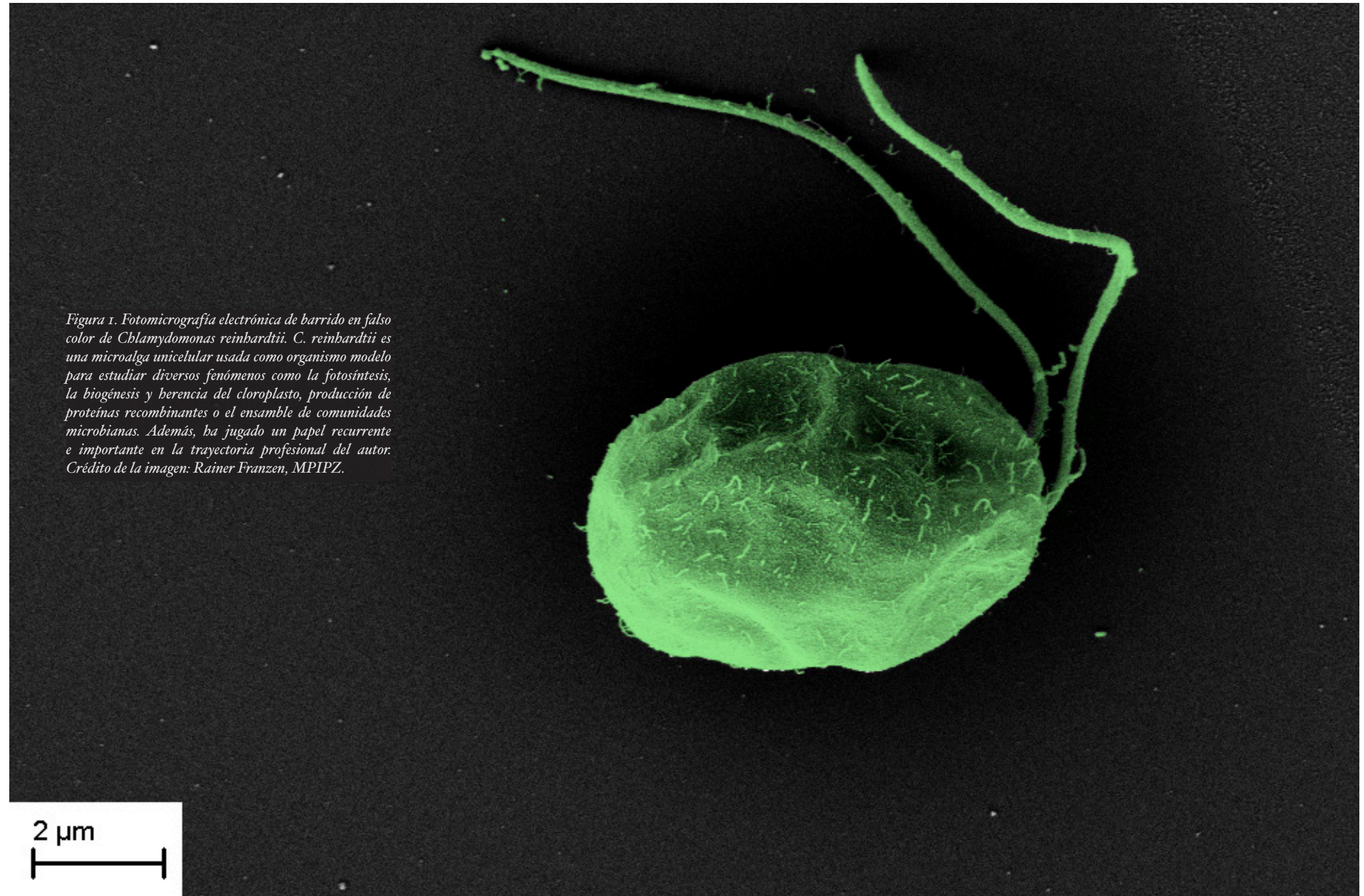


Figura 1. Fotomicrografía electrónica de barrido en falso color de *Chlamydomonas reinhardtii*. *C. reinhardtii* es una microalga unicelular usada como organismo modelo para estudiar diversos fenómenos como la fotosíntesis, la biogénesis y herencia del cloroplasto, producción de proteínas recombinantes o el ensamble de comunidades microbianas. Además, ha jugado un papel recurrente e importante en la trayectoria profesional del autor. Crédito de la imagen: Rainer Franzen, MPIPZ.

2 μ m

Figura 2. Muestreador roseta a bordo de un buque oceanográfico con las instalaciones del Instituto Inter-Universitario para Ciencias Marinas de fondo (Mar Rojo, Eilat, Israel). El muestreador está unido a un cable metálico que es usado para hacer descender el dispositivo en cuerpos acuáticos, esto permite además de recolectar mediciones de conductividad, temperatura y profundidad recuperar muestras de agua que pueden ser procesadas posteriormente a bordo del buque o en el laboratorio. Este equipo fue utilizado para recolectar algunas de las muestras que analicé durante mi doctorado. Crédito de la imagen: José Flores-Uribe.



programa “Marie Curie ITN”. El proyecto me interesó y a pesar de no conocer el laboratorio decidí concursar. Con mucha ilusión y nervios le escribí al Prof. Beja, quien para mi sorpresa luego de leer mis cartas de recomendación y entrevistarme, me aceptó en su grupo de investigación.

Esta era la primera vez que salía del país e interactuaba con una cultura totalmente diferente, lo que me hizo recordar ese primer semestre en Av. Acueducto; sin embargo, ahora tenía herramientas que mi paso por UPIBI me dejó y eso facilitó esta nueva etapa en mi vida.

Durante el doctorado utilicé métodos computacionales para analizar miles de muestras, provenientes de todo el mundo (Figura 2), lo que nos permitió estudiar cómo es que los bacteriófagos [1, 2] y diversas familias de proteínas [3] participan en varios ciclos biogeoquímicos marinos. Las hipótesis que generamos después eran verificadas en el laboratorio con experimentos diseñados para caracterizar el rol de los genes identificados computacionalmente en diferentes procesos ambientales.

Al graduarme llegué al instituto donde laboro actualmente. Usando biorreactores, inteligencia

artificial, metagenómica, e implementando nuevos sistemas experimentales (Figura 3) estudiamos las comunidades bacterianas asociadas con plantas y con mi vieja conocida: *C. reinhardtii*. Nuestros resultados sugieren la existencia de mecanismos de ensamblaje conservados entre la **microbiota** de plantas y microalgas [4]. Esto nos ayuda a entender mejor los principios básicos que gobiernan las comunidades microbianas del suelo y podría ser usado para diseñar mejores biofertilizantes en el futuro.

Mi trayectoria académica es breve, y a pesar de que en un inicio no me interesaba la investigación, he aprendido mucho sobre disciplinas muy diferentes e interesantes. Participar en proyectos diversos y complejos es gratificante, especialmente cuando tus pequeñas contribuciones a la ciencia han sido publicadas en las mejores revistas del campo y bien recibidas en conferencias líderes a nivel mundial. Sin los mentores y amigos que UPIBI me brindó mi experiencia no hubiera sido la misma. Ahí aprendí, dentro y fuera del laboratorio, la importancia de la disciplina, el trabajo en equipo y cómo aplicar lo aprendido a situaciones nuevas. Además



Figura 3. Fotobiorreactor con cultivos de *C. reinhardtii* y diversas comunidades bacterianas sintéticas. Este biorreactor nos permite controlar las condiciones experimentales de los cultivos (temperatura, aireación, iluminación, densidad, composición nutricional, etc.) para estudiar su efecto en la estructura y evolución de comunidades microbianas. Crédito de la imagen: José Flores-Uribe.

entendí que podía superar el miedo y así poder contactar a gente nueva, pedir oportunidades o ser autodidacta. Sin duda no me queda más que estarle eternamente agradecido. **BIO**

Glosario

Bacteriófago: Virus que infecta a bacterias.

Metagenómica: Estudio de la estructura y función de todas las secuencias de ADN provenientes de todos los organismos en una muestra a granel.

Microbiota: Conjunto de microorganismos (bacterias, virus, hongos, algas, etc.) que viven en la superficie y/o dentro de hospederos comúnmente eucariotas.

Referencias

[1] Flores-Uribe, J., Philofof, A., Sharon, I., Fridman, S., Larom, S., & Béjà, O. (2019). A novel uncultured marine cyanophage lineage with lysogenic potential linked to a putative marine *Synechococcus* ‘relic’ prophage. *Environmental Microbiology Reports* (Vol. 11, Issue 4, pp. 598–604). Wiley. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12773>

[2] Fridman, S., Flores-Uribe, J., Larom, S., Alalouf, O., Liran,

O., Yacoby, I., Salama, F., Bailleul, B., Rappaport, F., Ziv, T., Sharon, I., Cornejo-Castillo, F. M., Philofof, A., Dupont, C. L., Sánchez, P., Acinas, S. G., Rohwer, F. L., Lindell, D., & Béjà, O. (2017). A myovirus encoding both photosystem I and II proteins enhances cyclic electron flow in infected *Prochlorococcus* cells. *Nature Microbiology* (Vol. 2, Issue 10, pp. 1350–1357). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41564-017-0002-9>

[3] Pushkarev, A., Inoue, K., Larom, S., Flores-Uribe, J., Singh, M., Konno, M., Tomida, S., Ito, S., Nakamura, R., Tsunoda, S. P., Philofof, A., Sharon, I., Yutin, N., Koonin, E. V., Kandori, H., & Béjà, O. (2018). A distinct abundant group of microbial rhodopsins discovered using functional metagenomics. *Nature* (Vol. 558, Issue 7711, pp. 595–599). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0225-9>

[4] Durán, P., Flores-Uribe, J., Wippel, K., Zhang, P., Guan, R., Melkonian, B., Melkonian, M., & Garrido-Oter, R. (2022). Shared features and reciprocal complementation of the *Chlamydomonas* and *Arabidopsis* microbiota. *Nature Communications* (Vol. 13, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28055-8>

Concientifica

Un subproducto agroalimentario con valor agregado

Sistemas de membranas para tratar el subproducto del maíz

Elsa Díaz-Montes¹

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto s/n, Barrio La Laguna Ticomán, Ciudad de México 07340, México.

*Autor para la correspondencia: elsadimor123@gmail.com

El maíz (*Zea mays*) es una planta gramínea originaria de Mesoamérica (Figura 1), que produce los granos para elaborar gran cantidad de alimentos como tortillas, tamales, tostadas, harina, totopos, etc. [1]. En México es el cereal más producido, con una estimación de 27.4 millones de toneladas al año, de acuerdo con el último reporte (2020) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [2].

Existe una diversidad de razas de maíz, que se distinguen a partir de sus características fenotípicas (forma de la mazorca), tipo de grano y región. En América Latina se han reportado 220 razas, mientras que en México existen 64 razas, de las cuales 59 se consideran nativas [3]. El grano de maíz tiene un valor cultural en México, inclusive hay quienes consideran que es patrimonio cultural porque da identidad a la población mexicana [4]. Además, tiene valor nutricional debido a su composición química alta en carbohidratos (66-76%), proteínas (5-14%) y fibras (0.8-3%) [5].

El proceso más empleado para transformar el maíz es la nixtamalización (cocimiento con cal), debido a que mejora las características nutricionales (gelifica el almidón e hidroliza las fibras) y sensoriales del grano (sabor, color y textura), y permite la producción de masa para elaborar los alimentos. Para la elaboración de productos únicamente se emplea el grano cocido (nixtamal), sin embargo, de este procesamiento se genera un residuo alcalino (nejayote). El nejayote es el agua de cocimiento subproducto de la nixtamalización

del maíz, cuyo contenido químico deriva de las características del grano, la cantidad de cal, la temperatura y el tiempo de cocción [1].

El interés que se tiene hacia el maíz va más allá de la producción de alimentos comerciales, la investigación también se ha enfocado en estudios con el nejayote. El residuo se ha empleado como abono agrícola [6] y sustrato para el crecimiento de hongos [7] y bacterias probióticas [8]. Otro particular interés en el nejayote se centra en la reducción de sus contaminantes, por ejemplo, se ha propuesto el empleo de polímeros (quitosano y alginato) para encapsular sus sólidos y reducir la materia orgánica [9]. No obstante, también se han implementado tecnologías relativamente nuevas para el tratamiento del residuo, las tecnologías con membranas.

Una membrana es una barrera selectiva semipermeable que emplea fuerza motriz para separar una corriente de alimentación líquida (extracto) en dos diferentes, retenido y permeado. La fracción retenida contiene los componentes que no lograron atravesar la barrera por poseer tamaños más grandes que el poro de esta, mientras que, la fracción permeada contiene los componentes disueltos en agua que lograron pasar la membrana [1].



Figura 1. Planta de maíz.

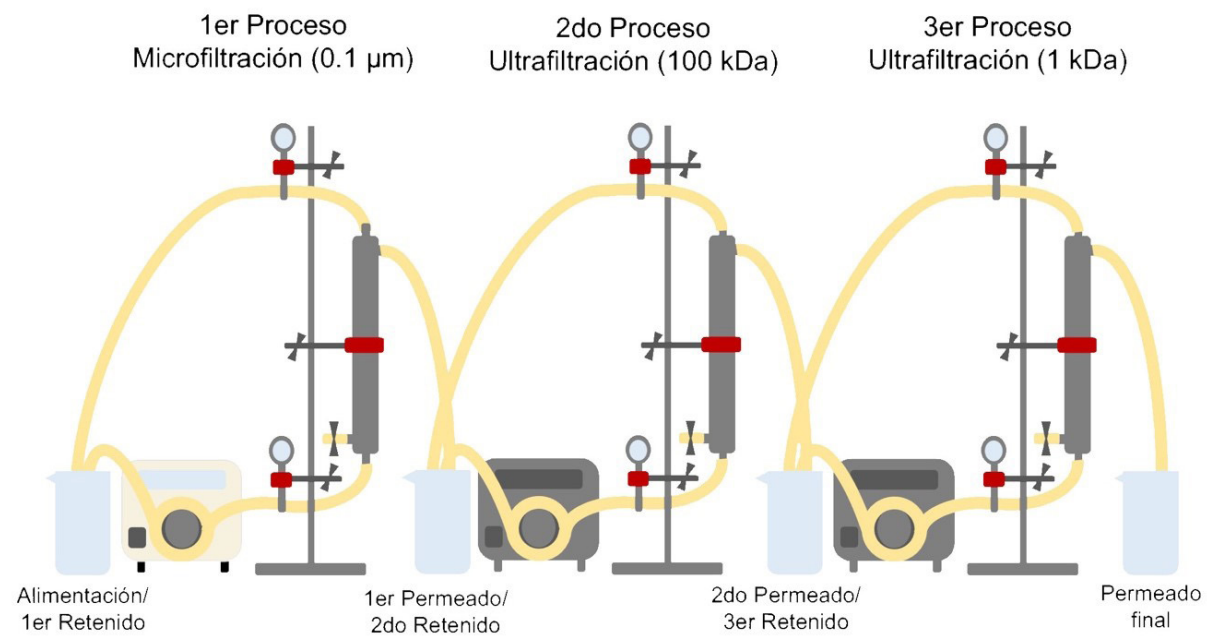


Figura 2. Sistema de membranas implementado para el fraccionamiento de nejayote.

Dependiendo del tamaño del poro, las membranas se clasifican en microfiltración (MF: 100–10,000 nm), ultrafiltración (UF: 2–100 nm) y nanofiltración (NF: 0.5–2 nm). Cuando varias membranas se acoplan para trabajar en conjunto, se denominan sistemas de membranas [1,10].

Los sistemas de membranas ofrecen ventajas de proceso, operativas, económicas y ambientales. Las ventajas de proceso están relacionadas con la funcionalidad, debido a que pueden retener componentes de diferentes tamaños, se consideran como métodos de purificación y los rendimientos de recuperación de componentes son altos. Las ventajas operativas se relacionan con el uso, la fácil operación y mantenimiento mínimo de los sistemas de membranas, que cualquier persona con una capacitación puede realizar. Las ventajas económicas de emplear estas tecnologías radican en que su adquisición (membranas, bombas y mangueras) implica una inversión inicial pero no emplean consumibles, disolventes, ni largos tiempos de procesos, en comparación con otros métodos de tratamiento o extracción (solventes, descargas eléctricas, ultrasonidos o cromatografías). Mientras que, las principales ventajas ambientales de este bioproceso tienen que ver con la reducción de materiales y la no generación de más residuos [1].

En México, aún no se aplican los sistemas de membranas para el tratamiento de residuos a nivel

industrial, sin embargo, hay patentes que acoplan estas tecnologías a tratamientos químicos y enzimáticos para tratar al nejayote [11], e investigaciones a nivel planta piloto que reportan procesos con membranas para fraccionar el residuo. Por ejemplo, en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional (UPIBI-IPN) se implementó un sistema por lote con tres membranas: una membrana de MF (0.1 µm) y dos membranas de UF (100 y 1 kDa, respectivamente); en el cual, la fracción permeada del primer proceso (MF) fue la alimentación del segundo proceso (UF 100) y el permeado del segundo proceso fue la alimentación del tercer proceso (Figura 2) [10].

El sistema se empleó para fraccionar tres tipos de nejayote proveniente de maíz blanco (Mushito de Michoacán), maíz rojo (Elote occidental) y maíz morado (Elotero de Sinaloa). Los resultados del estudio indicaron que la membrana de MF retuvo el 60% de los carbohidratos iniciales, y las membranas de UF hasta el 96% de carbohidratos que habían logrado atravesar la primera membrana. Por otro lado, se identificaron polifenoles totales que no fueron retenidos por la membrana de MF y se lograron concentrar en la fracción permeada del último proceso de UF [10]. El tratamiento del nejayote mediante el sistema triple de membranas permitió obtener una fracción inicial con alto contenido de carbohidratos y

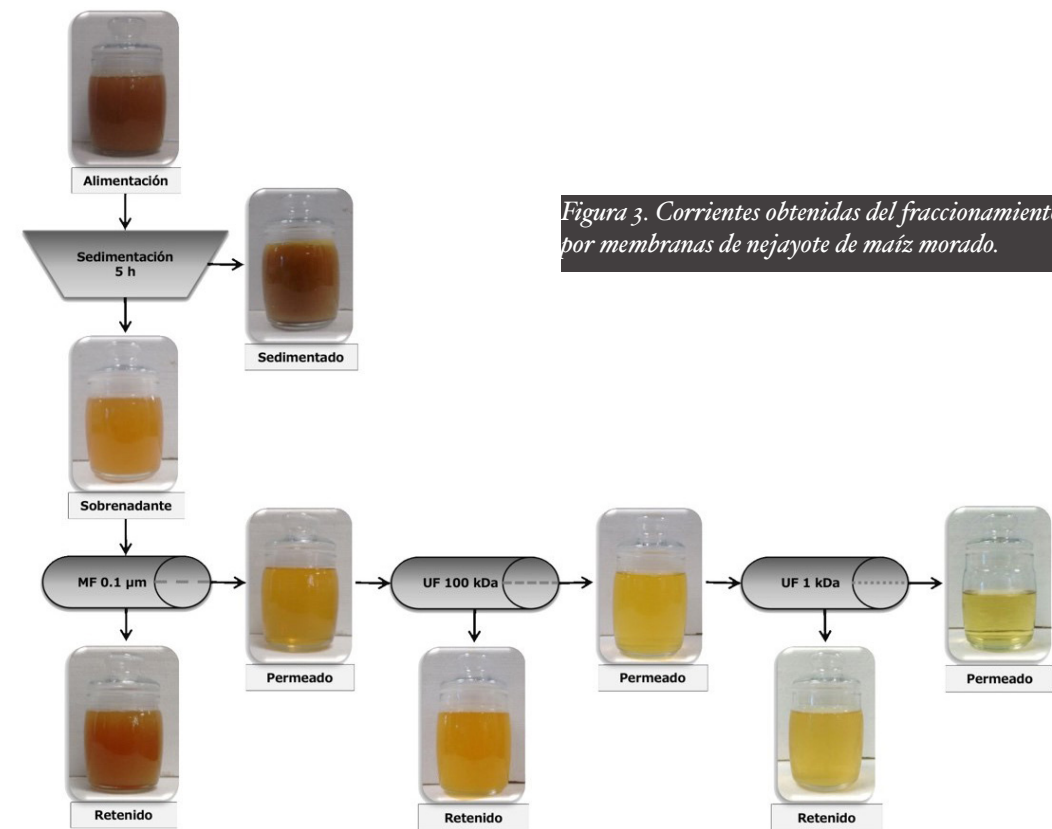


Figura 3. Corrientes obtenidas del fraccionamiento por membranas de nejayote de maíz morado.

una fracción final con importante actividad antioxidante (Figura 3); las cuales, pueden ser purificadas para obtener componentes libres como glucosa, fructosa y ácidos orgánicos con un potencial uso como aditivos alimentarios, lo que generaría un valor agregado en el extracto. Por otro lado, al ser un residuo producido en cantidades industriales en México, el tratamiento con membranas permitió la reducción de materia orgánica y minerales como el calcio, resultando en una alternativa positiva para el medio ambiente [10].

Los sistemas de membranas han permitido obtener componentes de valor agregado a partir del residuo agroindustrial del procesamiento del maíz, no obstante, este bioproceso puede escalarse a cualquier otro residuo o subproducto para tratarlo y disminuir su efecto nocivo a la salud y al medio ambiente.

Referencias

- [1] Díaz-Montes, E., Castro-Muñoz, R., & Yáñez-Fernández, J. (2016). An overview of nejayote, a nixtamalization by product. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(2), 41-60. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.03.002>
- [2] FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Cultivos y productos de ganadería. Consultado el 4 de diciembre de 2022 de <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- [3] CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). Razas de maíz de México. *Diversidad*

- natural y cultura. Consultado el 4 de diciembre de 2022 de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- [4] Barros, C. (2011). El maíz, nuestro patrimonio. *Diario De Campo*, (6), 12-15. Consultado el 4 de diciembre de 2022 de <https://mexicana.cultura.gob.mx/es/repositorio/x2acnp2f9p-5>
- [5] FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1992). Maize in human nutrition: Gross chemical composition. Consultado el 4 de diciembre de 2022 de <https://www.fao.org/3/t0395e/T0395E03.htm>
- [6] Tellez-Pérez, V., López-Aragón, A. & Zayas-Pérez, M.T. (2018). Lodos residuales de nejayote como sustratos para la germinación de semillas de maíz azul criollo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 395-404. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.03>
- [7] Díaz-Montes, E., Rodríguez-Romero, V.M. & Arzola-Rodríguez, S.I. (2022). Effect of Primary By-Product (Nejayote) of the Nixtamalization on Fungal Growth. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01932-5>
- [8] Ramírez-Romero, G., Reyez-Velazquez, M. & Cruz-Guerrero, A. (2013). Estudio del nejayote como medio de crecimiento de probióticos y producción de bacteriocinas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 463-471.
- [9] Vacio-Muro, K.J., Lozano-Álvarez, J.A., Sánchez-González, M.N., Chávez Vela, N.A., Torres-Ramírez, E. & Jáuregui-Rincón, J. (2021). Remoción de contaminantes del nejayote con alginato y quitosano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 497-515. <https://doi.org/10.20937/rica.53185>
- [10] Díaz-Montes, E., Barragán-Huerta, B.E. & Yáñez-Fernández, J. (2020). Identification and Evaluation of Antioxidant Activity of Hydroxycinnamic Acids Extracted by Ultrafiltration from Three Varieties of Mexican Maize. *Waste Biomass Valor* 11, 1799-1808. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0420-9>
- [11] Asaff Torres, A.J. & Reyes Vidal, M.Y. (2014). Un método y un sistema para el tratamiento integral de aguas residuales de una industria del maíz (Patente de México, WO2014119990A2). PCT - The International Patent System - WIPO. <https://patents.google.com/patent/WO2014119990A2/es#patentCitations>

Concientifica

Pigmentos vegetales

Una alternativa frente a colorantes sintéticos

Diana Carolina Franco Vásquez ^{1*}
Juan Pablo Carreón Hidalgo ¹

¹ Doctorado en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa.

*Autor para la correspondencia: carolinaf_531@hotmail.com

El color en los alimentos puede jugar un papel muy importante en la selección y preferencia del consumidor moderno. En alimentos procesados o mínimamente procesados se utilizan diferentes colorantes sintéticos con el objetivo de mejorar la apariencia e incrementar la intensidad, la estabilidad y la uniformidad del color. Este tipo de colorantes se derivan del alquitrán de hulla y su consumo prolongado se ha asociado a problemas de salud como alergias e hiperactividad por lo que, dependiendo de las normas de cada país, se suelen establecer límites bien definidos para su uso en alimentos. Los colorantes sintéticos permitidos por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) son la eritrosina (rojo No. 3), el rojo Allura AC (rojo No. 40), la tartrazina (amarillo No. 5), el Amarillo ocaso (amarillo No. 6), el azul brillante FCF (azul No. 1) y el carmín de índigo (azul No. 2). En México, la Comisión

para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) se encarga de regular y señalar los límites de uso de los colorantes sintéticos en alimentos. Además de los colorantes señalados por la FDA, la COFEPRIS también permite el uso de Azorrubina (rojo No. 3), Ponceau 4R (rojo 6) y Verde rápido FCF (verde 3). Cabe resaltar que este tipo de colorantes no solo se aplican en alimentos para consumo humano, sino también en alimentos para mascotas, cosméticos y medicamentos [1, 2].

Una fuente alternativa y atractiva de colorantes con un uso potencial en alimentos son los provenientes de distintas especies vegetales: antocianinas, flavonas, flavonoles, carotenoides, beta-láinas y clorofilas. En conjunto, estos pigmentos ofrecen un amplio rango de coloraciones (Figura 1) y, dependiendo de la especie vegetal, pueden obtenerse de tallos, hojas, frutos o flores [3, 4].

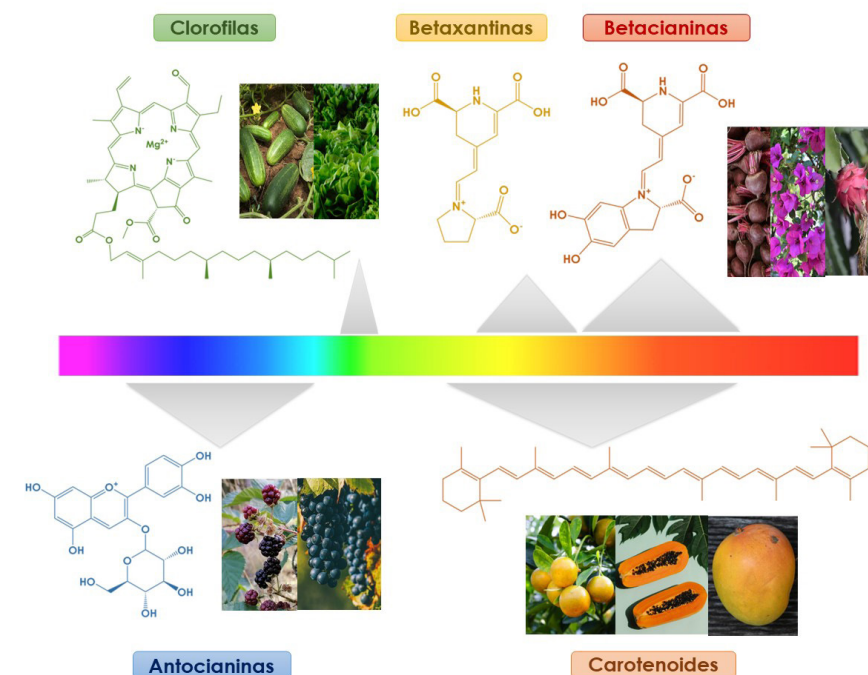


Figura 1. Color, estructuras y fuentes representativas de varias clases de pigmentos vegetales. En la parte central se representa el espectro de luz visible. Las betaláinas y carotenoides abarcan colores entre 570 y 700 nm, las clorofilas entre 500 y 530 nm y las antocianinas entre 430 y 497 nm.

A continuación, se ofrece una breve descripción de varias clases de pigmentos vegetales, sus fuentes más comunes y algunas de sus actividades biológicas.

Antocianinas

Actualmente, se han identificado más de 600 tipos de antocianinas y se les considera el grupo de compuestos más importante entre los flavonoides, que también incluyen a las flavonas y a los flavonoles. Las antocianinas son los pigmentos responsables de la coloración roja, rosa, violeta y azul en frutos y flores de diversas especies vegetales. De forma cotidiana, este tipo de compuestos se encuentra en frutas como uvas, arándanos, zarzamoras, fresas, ciruelas y también en hortalizas como la col morada. Las antocianinas tienen actividades biológicas como antioxidantes, antiinflamatorias, actividad antimicrobiana (destrucción de pared y membrana celular de bacterias Gram negativas e inhibición de bacterias como *Salmonella* y *Escherichia coli*), mejora de la salud visual, neuroprotectoras (supresión de procesos neuroinflamatorios), y reducción de enfermedades coronarias (disminución de la presión sanguínea y los niveles de glucosa en sangre) [4, 5].

Betalainas

Las betalainas son compuestos solubles en agua y se han identificado alrededor de 75 tipos. Por las diferencias en su estructura química y color es posible dividir a las betalainas en betacianinas, de coloraciones rojo-púrpura, y betaxantinas, de coloraciones amarillo-naranja. Este tipo de pigmentos se encuentran en betabel, amaranto, buganvilia, tuna y otros frutos de cactáceas como la pitaya. Las betalainas tienen actividades biológicas como antioxidantes (neutralización de radicales libres, inducción de mecanismos de defensa antioxidante como la inducción de enzimas antioxidantes y reducción del daño a ADN), antiproliferativas, anticancerígenas, antiinflamatorias, y antimicrobianas [4, 5].

Carotenoides

Se han identificado y caracterizado más de 1000 carotenoides, pero solo entre 40 y 50 se encuentran de forma natural en nuestros alimentos. Los carotenoides son compuestos solubles en aceites y son sintetizados por todos los

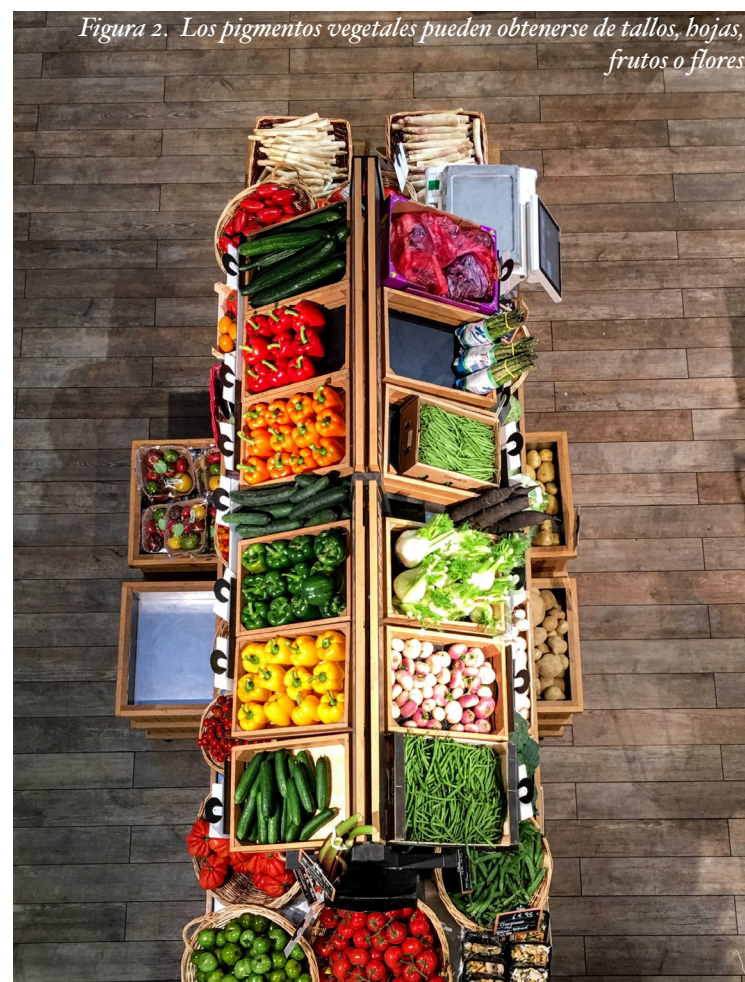


Figura 2. Los pigmentos vegetales pueden obtenerse de tallos, hojas, frutos o flores

organismos fotosintéticos, lo que incluye plantas, algas y microorganismos. Estos pigmentos son responsables de conferir coloraciones amarillas, naranjas y rojas. Las principales fuentes de carotenoides en nuestra dieta son las zanahorias, los jitomates, los pimientos y frutas como la naranja, el mango, la papaya y el melón. Este grupo de pigmentos tienen actividades biológicas como provitamina A (implicada en la regulación del crecimiento y la diferenciación celular, en las funciones inmunitarias, el desarrollo de los ojos y la visión), como antioxidantes, actividad anticancerígena y un efecto protector en la función cognitiva [4, 5].

Clorofilas

Hay cinco clases de clorofilas: *a*, *b*, *c*, *d* y *e*. Las clorofilas son los pigmentos más abundantes en todas las especies vegetales y su presencia ocasiona coloraciones verdes en hojas y tallos. En nuestra dieta es posible encontrar clorofilas, principalmente la *a* y la *b*, en frutas verdes, pepino, espinaca, lechuga y otras especies comestibles. Las clorofilas tienen actividad anticancerígena y un efecto protector contra el daño al ADN [3, 4].



Figura 3. Las principales fuentes de carotenoides son las zanahorias, los jitomates, los pimientos, la naranja, el mango, la papaya y el melón.

Tomando en cuenta las distintas actividades biológicas de los pigmentos vegetales el consumo de estos compuestos podría tener un efecto positivo sobre la salud del consumidor, pero son necesarios más estudios clínicos en humanos que sustenten sus beneficios.

Es importante resaltar que, además de las plantas, también hay diferentes especies de microorganismos que producen pigmentos. Por ejemplo, es posible producir carotenoides como licopeno y β -caroteno (de *Blakeslea trispora* y *Dunaliella salina*), pigmentos azules como la ficocianina (de *Arthrospira platensis*) y pigmentos rojos como el Arpink Red™ (de *Penicillium oxalicum*). La ventaja de este tipo de producción es que se puede llevar a cabo en biorreactores con condiciones controladas y con desperdicios agroindustriales como materia prima [6].

Los pigmentos vegetales pueden tener algunas desventajas, principalmente una baja estabilidad frente a diversos factores ambientales como la exposición a la luz, temperaturas elevadas o valores de pH extremos, además de no ser tan brillantes y tener un costo de producción mayor que sus contrapartes sintéticas. Esto hace necesario orientar la investigación relacionada con pigmentos vegetales a la identificación, caracterización y evaluación de la seguridad de nuevas fuentes vegetales de colorantes, a desarrollar métodos de extracción amigables con el ambiente, así como a mejorar las características funcionales y estabilidad de los colorantes obtenidos [4].

El daño a la salud por el consumo de colorantes sintéticos puede evitarse si estos se sustituyen por pigmentos vegetales. La investigación relacionada con estos pigmentos, sus efectos positivos sobre la salud y sus fuentes contribuye a aumentar su disponibilidad, su consumo y su aplicación como colorantes en alimentos. BIO

Glosario

Alquitrán de bulla. Líquido espeso y oscuro obtenido como subproducto del procesamiento del carbón mineral para producir diferentes tipos de combustibles.

Actividad biológica. Efectos benéficos o adversos de un determinado grupo de compuestos sobre organismos vivos. Por ejemplo, actividad antimicrobiana, antiinflamatoria o antiproliferativa sobre células tumorales, entre otras.

nm. Símbolo del nanómetro. Esta unidad de longitud equivale a la mil millonésima parte de un metro o a la millonésima parte de un milímetro.

Biorreactor. Recipiente o contenedor con condiciones controladas que favorecen el cultivo y crecimiento de distintos microorganismos.

Referencias

- [1] Dey, S., & Nagababu, B. H. (2022). Applications of food color and bio-preservatives in the food and its effect on the human health. *Food Chemistry Advances*, 1, 100019. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100019>
- [2] COFEPRIS. (2015). ANEXO III Colorantes con una IDA establecida. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/733133/ANEXO_III.pdf
- [3] Albuquerque, B. R., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Could fruits be a reliable source of food colorants? Pros and Cons of These Natural Additives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61, 805–835. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1746904>
- [4] de Mejia, E. G., Zhang, Q., Penta, K., Eroglu, A., & Lila, M. A. (2020). The colors of health: Chemistry, bioactivity, and market demand for colorful foods and natural food sources of colorants. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 145–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051729>
- [5] Rodríguez-Mena, A., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quinones, O. M., González-Laredo, R. F., & Olmedilla-Alonso, B. (2023). Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. *Food Chemistry*, 398 (2023). 133908. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133908>
- [6] Aman Mohammadi, M., Ahangari, H., Mousazadeh, S., Hosseini, S. M., & Dufossé, L. (2022). Microbial pigments as an alternative to synthetic dyes and food additives: A brief review of recent studies. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 45(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02621-8>

La corrosión y el medio ambiente

Omar Alejandro González Noriega¹
 Ana Karen Gálvez Larios²
 Alfredo Brito Franco^{3*}

¹Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma Nacional de México, Av. Universidad No.3000, Coyoacán, C.U., Ciudad de México 04510, México.

²Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 1000, Col. Chamilpa 62209-Cuernavaca, Mor, México.

³Universidad Autónoma del Estado de Morelos, CIICAp, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa 62209-Cuernavaca, Mor, México.

*Autor para la correspondencia: ingomarglezn@gmail.com

Introducción

La corrosión es el deterioro de las propiedades de un material, debido a su interacción con el medio ambiente. La velocidad de corrosión depende del tipo de ambiente y el material [1]. Por ejemplo, uno de los materiales que es muy utilizado por su gran resistencia a la corrosión es el acero inoxidable, éste cuando se corroe tiene la capacidad especial de pasivarse, es decir, que se forma una pequeña capa de óxido la cual reduce o inclusive detiene la velocidad de corrosión, esto dependerá del medio en el que se encuentre. Por lo general es muy resistente en varios medios, pero si lo utilizamos en un ambiente con un gran contenido de cloruros (zonas costeras) éste se corroerá rápidamente.

¿Pero qué efectos tiene la corrosión? Por una parte la corrosión puede producirse de manera uniforme, que, como su nombre lo indica, se presenta a lo largo de toda la superficie del material

en la misma proporción, lo cual irá consumiendo al material poco a poco. Por otra parte está la corrosión localizada, siendo una de las más peligrosas, ya que comienza atacando pequeñas zonas en las cuales irán creando un picado, el cual incrementa de tamaño conforme pasa el tiempo. Esto puede generar la aparición de grietas o fisuras, las cuales se propagarán consecutivamente hasta que el material falle, como ejemplo véase la Figura 1 y Figura 2. Algunos resultados observados por lo anterior son fugas de petróleo en tuberías, las cuales pueden terminar en explosiones; caída

Concientifica



Figura 1. Cadena corroída en la cual se muestra claramente la presencia de corrosión localizada.

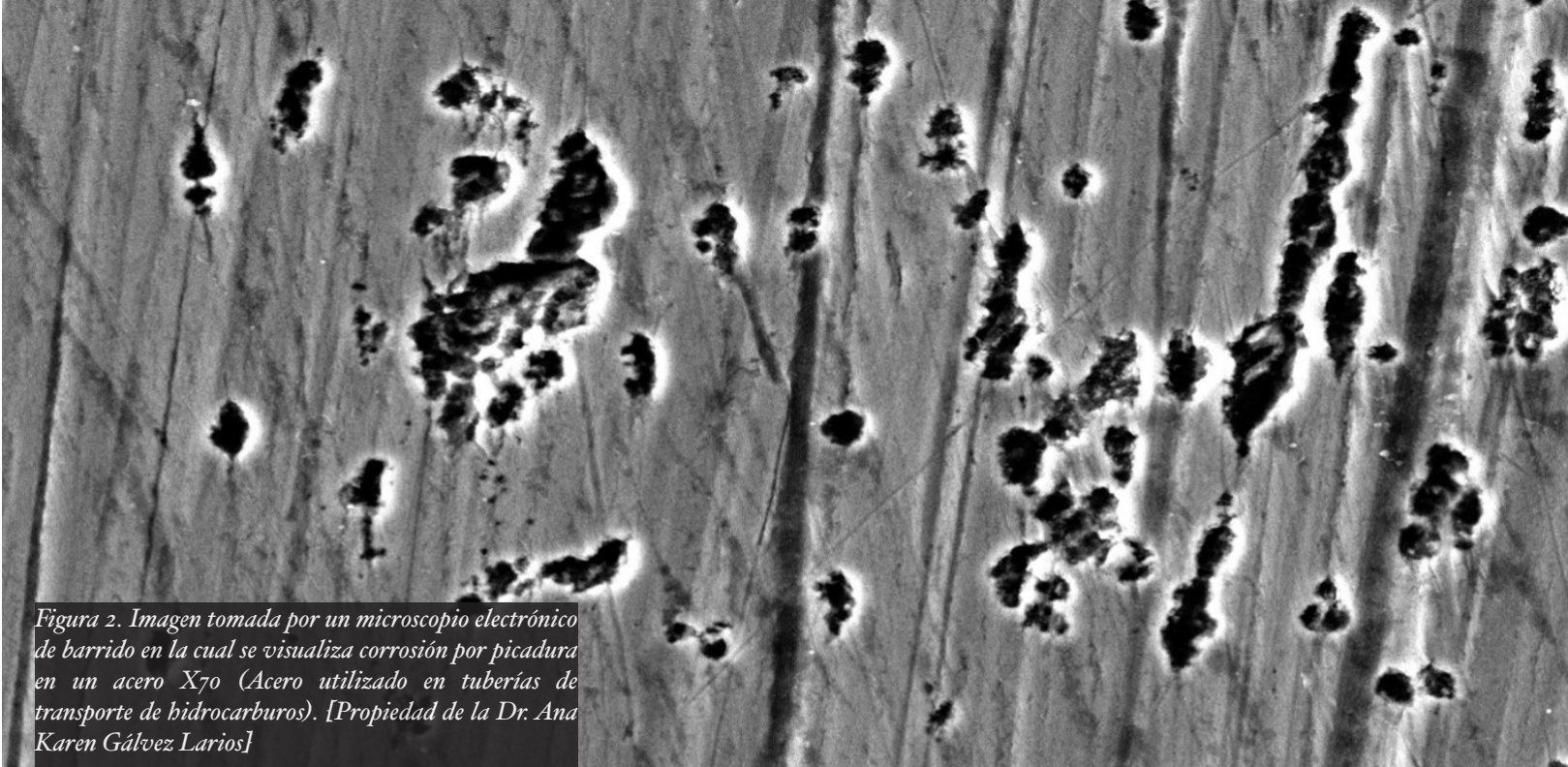


Figura 4. Medicamentos caducos a los cuales se les puede dar un segundo uso como inhibidores de la corrosión.

Figura 2. Imagen tomada por un microscopio electrónico de barrido en la cual se visualiza corrosión por picadura en un acero X70 (Acero utilizado en tuberías de transporte de hidrocarburos). [Propiedad de la Dr. Ana Karen Gálvez Larios]

SED 20.0 kV WD 9.7 mm High-PC 30.0 HighVac. x2,000 10 µm



Figura 3. A partir de frutas, verduras y plantas de uso común, se pueden sintetizar inhibidores de la corrosión.

de aviones, debido a que estos pueden llegar a presentar corrosión y al estar sometidos a esfuerzos constantes pueden terminar en una tragedia; otro ejemplo es la ruptura de una prótesis, provocando hinchazón e infecciones en un paciente humano debido a los productos de corrosión y residuos de ésta, etc.

¿Cómo se mitiga la corrosión?

Entre los métodos anticorrosivos más abundantes, está el uso de inhibidores,

convirtiéndose en uno de los más importantes. Un inhibidor es una sustancia la cual al agregarse en pequeñas cantidades (partes por millón) al ambiente, reduce o previene la corrosión de un material metálico [2].

Los peligros de la gran mayoría de los inhibidores orgánicos sintéticos se conocen comúnmente e incluyen su alta toxicidad, algunos son cancerígenos y el hecho de que estos pueden llegar a aguas naturales y ser distribuidos en los ecosistemas puede afectar de forma contundente. Además de que son demasiado costosos. Dado

lo anterior, las nuevas legislaciones ambientales, como la Ley de Control de Sustancias Tóxicas de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos y la Directiva de Restricciones de Sustancias Peligrosas de la Unión Europea, generan la necesidad de desarrollar inhibidores de corrosión ambiental amigables, que no tengan metales pesados como cromo, plomo y compuestos orgánicos [3]. Debido a esta razón ha surgido el uso de extractos de plantas como inhibidores de la corrosión. La mayoría de los inhibidores naturales no son tóxicos, son biodegradables y abundan en la naturaleza. Hasta el momento, ya se han utilizado extractos a partir de semillas, frutas, hojas, flores, etc. (Figura 3) y se ha encontrado que reducen notablemente la velocidad de corrosión [2,3]. El efecto inhibidor se atribuye a la adsorción de estas sustancias orgánicas sobre la superficie del metal, lo cual bloquea los sitios activos o forman una capa protectora. Algunos otros inhibidores de la corrosión se han obtenido a partir de: gabazo de café, cascara de coco, hueso de mamey, hueso de aguacate, palma, calabaza, árbol de curry, por mencionar algunos.

Medicamentos caducos como inhibidores de la corrosión

Como se sabe, los medicamentos tienen una fecha de vencimiento, por lo cual después de ésta ya no pueden ser ingeridos y deben desecharse. Sin embargo, en México y la mayor parte del mundo es común tirar los medicamentos al drenaje, basura o incluso revenderlos haciéndolos pasar por medicamentos nuevos. No obstante, no se percatan de los daños producidos que van desde contaminación del agua, suelo y cultivos, hasta intoxicación, resistencia bacteriana, entre otras. De acuerdo con la Comisión Federal de la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), alrededor de 12 millones de medicamentos caducos no son recuperados por las autoridades sanitarias, de los cuales un 30% se desvía al mercado ilegal. También la OMS ha advertido sobre el uso inadecuado de los fármacos, que puede incluso alterar el medio ambiente, pues se ha detectado presencia de

medicamentos en el agua, aire, tejido animal, etc. De acuerdo a la Cámara Nacional de Industria Farmacéutica el mercado negro de fármacos de México está entre 13 y 30 mil millones de pesos [7].

Es por ello que se buscan alternativas para controlar los medicamentos desechados. Una propuesta es instalar puntos de disposición de medicamentos caducos, para que sean recolectados y almacenados en plantas de tratamiento de envases y residuos de medicamentos. Pero, esta medida no es suficiente, es por ello que la ciencia no descansa. Los ingenieros en corrosión descubrieron que los grupos funcionales presentes en los medicamentos tienen mucha similitud con otro tipo de inhibidores, durante años de investigación se ha demostrado que es posible darles un segundo uso a los medicamentos caducos utilizándolos como inhibidores de la corrosión. Estos han presentado una buena eficiencia, reduciendo hasta en un 99% la velocidad de corrosión. Algunos de los medicamentos estudiados son omeprazol, amoxicilina, paracetamol, ambroxol, tramadol, podocip, acetazolamide, pantoprazol, entre otros (Figura 4).

¿Pero en dónde se aplican los inhibidores? Los inhibidores de la corrosión se aplican generalmente en sistemas cerrados como tuberías. Como sabemos México se caracteriza por ser uno de los principales productores de petróleo de América Latina. En el sector petrolero PEMEX cuenta con más de 50 mil kilómetros de ductos donde se transporta el petróleo, estos ductos pueden pasar por zonas donde hay ambientes muy extremos como por ejemplo estar enterrados en la tierra, pasar sobre ríos, mares, lugares donde hay elevadas temperaturas, contaminación, etc. Por lo que resulta crucial proteger a estas tuberías contra la corrosión.

Con los inhibidores se busca proteger el interior de la tubería ya que el petróleo por sí solo no es corrosivo, lo que produce la corrosión es el agua que lo acompaña. No solo se trata del fluido que viaja por la tubería sino también la velocidad y partículas que pueda arrastrar, estas promueven la corrosión interna del ducto.

Recubrimientos y nanotecnología para inhibir la corrosión

Las pinturas (o también denominados recubrimientos) son otro método de protección contra la corrosión de los materiales. Las pinturas tienen como objetivo proteger las superficies metálicas, estos generan una barrera contra la corrosión de las especies presentes en el ambiente, debido a su alta resistencia al oxígeno, agua y transporte iónico. La eficiencia de una pintura radica en su buena adhesión a la superficie del material, que sea estable por largos periodos y que tenga una baja permeabilidad [4]. Para el caso de los plásticos también son afectados por el fenómeno de la corrosión, cuyo ataque aparece en forma de agrietamiento, hinchazón y decoloración. Estos son pintados frecuentemente porque es un proceso menos costoso que usar plásticos precoloreados; además, la pintura los protege de la radiación del sol (radiación ultravioleta) aunado a lo antes mencionado.

Gracias a los constantes avances tecnológicos hoy contamos con la nanotecnología, es un conjunto de disciplinas y técnicas utilizadas en el diseño, síntesis, caracterización y aplicación de materiales y dispositivos dentro de los cuales sus dimensiones están en escala de nanómetros (1 nanómetro es igual a 0.000001 milímetros ¡Sorprendente no lo crees!). Gracias a esto podemos crear nanocontenedores para almacenar diversas sustancias.

Todo esto nos permite unificar dos métodos de protección contra la corrosión creando así los recubrimientos inteligentes. Estos constan de una pintura con nanopartículas las cuales sirve como almacenadores del inhibidor de la corrosión, algunos de estos nanocontenedores son zeolita, montmorillonita, hallosita, benonita, sílice mesoporosa, entre otras. Los anteriores representan algunos de los más estudiados los últimos años, debido a sus ventajas. Estas partículas pueden liberar el inhibidor almacenado cuando son dañadas, mientras que algunos otros estímulos de accionamiento pueden ser la temperatura, radiación, presión, etc. [5, 6].

Ahora que comprendemos qué es la corrosión y su importancia, sabemos que representa un problema muy importante en todo el mundo, ya que deteriora a los materiales. Esto último puede conducir en accidentes, que pueden ir desde pérdidas millonarias hasta pérdidas humanas, es por ello que constantemente se buscan alternativas que mitiguen el proceso de corrosión, que sean amigables con el medio ambiente y de bajo costo. Así que si queremos proteger algún material podemos optar por pintarlo. Evitemos tirar los medicamentos, podemos llevarlos a alguna universidad para que se les dé un segundo uso y de esta forma evitar la contaminación del medio ambiente o que acaben en la venta ilegal de medicamentos. Cuidar el medio ambiente y el entorno en el que vivimos es responsabilidad de todos, ya que es la mejor herencia que podemos dejarle a las futuras generaciones. ¡Cuidémoslo!



Referencias

- [1] Dhawan S., Bhandari H., Ruhi G., Singh B., & Sambyal P. (2020). Corrosion Preventive Materials and Corrosion Testing. First Edition. CRC Press Taylor and Group.
- [2] Sastri V. (2012). Green corrosion inhibitors. First Edition, Wiley.
- [3] Tejeda L., Meza P., Altamiranda E., & Berrocal M. (2014). Plant extracts used as corrosion inhibitors. Informador Técnico. Vol. 78, No. 2, Pages 155-164. DOI:10.23850/22565035.99
- [4] Zheng D., Gui Q., Xu Y., & Li G. (2021). Modified AC-DC-AC method for evaluation of corrosion damage of acrylic varnish paint coating/Q215 steel system. Progress in organic coatings. 159, 106401. DOI:10.1016/j.porgcoat.2021.106401
- [5] Tabatabaei M., Davoudi M., Ramezanzadeh M., Ghasemi E., Ramezanzadeh B., & Mahdavian M. (2020). Construction and building materials. No.247. 118555. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.118555
- [6] Martínez G., Bosco J., López T., & Menchaca C. (2015). Materiales Sustentables y Reciclados en la Construcción. Primera edición. OmniaScience. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.211>.
- [7] Villagrán A. (2022). Iniciativa con proyecto de decreto por el que se adiciona y reforman diversos numerales de la ley de la salud de la Ciudad de México; en materia de desecho de medicamentos. II Legislatura del Congreso de la Ciudad de México. <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/ccd3933f9d764fc56f807460c81e1db8f6bc359a.pdf>

Concientifica



Las plantas: Tecnología para solucionar el gran problema de contaminación por arsénico

Nemi Alcántara Martínez

Facultad de Ciencias, UNAM

ilhuice@hotmail.com

La contaminación de los suelos y cuerpos de agua con arsénico es un problema creciente en todo el mundo. Esto se debe a la liberación del elemento al medio ambiente principalmente debido a actividades humanas como extracción de aguas subterráneas u obtención de minerales de interés comercial, las cuales son actividades necesarias para a la población en aumento constante, aunque también se puede liberar por procesos naturales como la erosión de las rocas y emisiones volcánicas.

La contaminación de agua potable con arsénico conlleva a su consumo y por lo tanto representa un riesgo importante de desarrollar problemas de salud relacionados con este elemento altamente tóxico en los sistemas vivos, ya que no tiene una función biológica en las células. Los problemas de salud ocasionados por la exposición al arsénico son diversos. Estos van desde afecciones dermatológicas hasta enfermedades neurodegenerativas, cáncer, diabetes, e incluso se han relacionado con autismo [6]. En México se han reportado cuerpos de agua potable con altas concentraciones de arsénico en diversos estados, entre los que se encuentran Jalisco, Baja California Sur, Colima, Sonora, Coahuila, Puebla, Morelia, Zacatecas, Hidalgo, Chihuahua, San Luis Potosí y Guanajuato, donde la contaminación es mucho mayor que los niveles permisibles descritos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 ($25 \mu\text{g L}^{-1}$), y aún mayor que lo indicado por la Organización Mundial de la Salud ($10 \mu\text{g L}^{-1}$), lo cual constituye un gran riesgo a la salud humana. En algunas localidades de estos estados, se han encontrado niveles preocupantes del elemento en sangre, orina y cabello de niños y adultos, debido

al consumo del agua contaminada. Por ejemplo, en Baja California Sur, en el 2014 se reportaron concentraciones de arsénico de hasta 398.7 ng mL^{-1} en muestras de orina de habitantes [4] y años más tarde en el 2021, se reportaron concentraciones similares de hasta $301.52 \text{ ng mL}^{-1}$ [5], valores que superan 47 veces el límite reconocido por comités científicos internacionales como el riesgo de ingesta tolerable para la salud [5] y evidencian que la contaminación de agua potable no ha sido atendida adecuadamente.

Remover el arsénico de sistemas de agua es todo un reto; ya que, a diferencia de otros contaminantes como los hidrocarburos, el arsénico al ser un elemento inorgánico no se puede degradar. Las tecnologías enfocadas en limpiar o sanear agua o suelos contaminados con este elemento se basan en la transformación química del elemento, lo cual permite removerlo o bioestabilizarlo, es decir, formar complejos de arsénico con moléculas pequeñas para eliminar sus efectos tóxicos. Las tecnologías tradicionales consisten en procesos fisicoquímicos, que separan, precipitan o adsorben el arsénico, mientras que tecnologías más recientes utilizan plantas para adsorber el elemento en superficies elaboradas a partir de materia vegetal o absorberlo por las raíces y acumularlo en las células y tejidos de plantas en crecimiento (Figura 1). Estos métodos de remediación basados en el uso de plantas han sido de gran interés en las últimas décadas ya que muestran diversas ventajas respecto a tecnologías tradicionales; por ejemplo, son tecnologías amigables con el medio ambiente, pueden contribuir al manejo sustentable de especies vegetales, y en general son más económicas ya que dependen en gran medida de la materia vegetal.

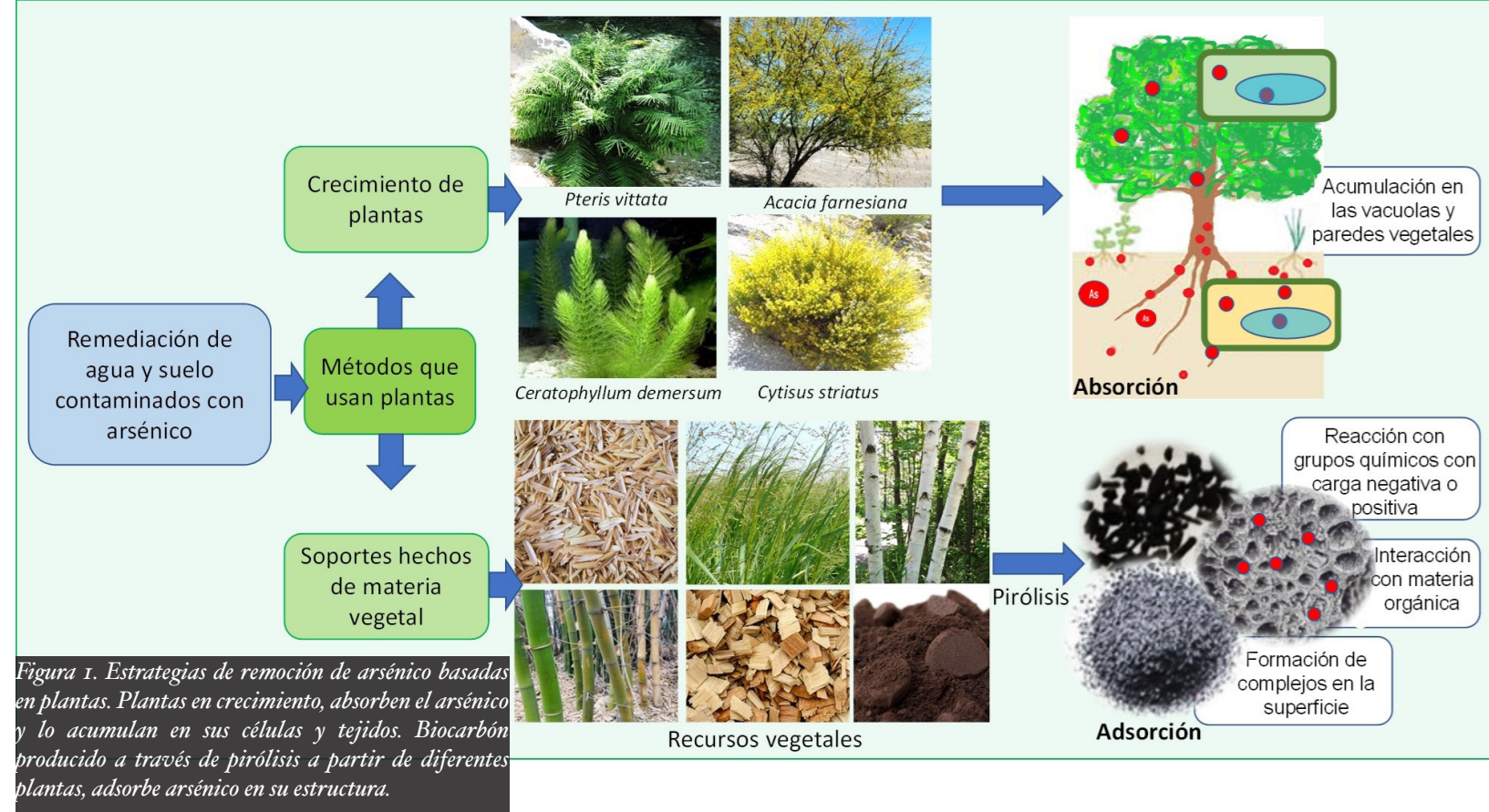


Figura 1. Estrategias de remoción de arsénico basadas en plantas. Plantas en crecimiento, absorben el arsénico y lo acumulan en sus células y tejidos. Biocarbón producido a través de pirólisis a partir de diferentes plantas, adsorbe arsénico en su estructura.

Actualmente se conocen diversas especies vegetales que a través de su metabolismo pueden absorber y acumular el elemento en sus tejidos (fitorremediación). Estas plantas pertenecen a diversas familias y tienen diferentes hábitos de vida, algunas son terrestres (ej. Helecho chino: *Pteris vittata*), otras son acuáticas (ej. Bejuquillo: *Ceratophyllum demersum*), algunas son plantas muy antiguas como los helechos y otras evolutivamente más recientes como las leguminosas (Figura 1). Por otro lado, cuando se emplea la materia vegetal como soporte para adsorber el elemento, se utilizan principalmente desechos de la industria agrícola como son: pasto, residuos de maíz y arroz, café molido, cascarilla de trigo, madera de diversos árboles, tallos de bambú, entre otros, para producir biocarbón, un producto que por sus características fisicoquímicas puede adsorber arsénico (y otros elementos inorgánicos) en su estructura (remediación por adsorción).

Un aspecto muy recomendable en las estrategias de remediación que usan plantas es que el aprovechamiento biotecnológico de la especie vegetal contribuya a su manejo sustentable en la población donde se utilice. Como ejemplo de lo anterior, podemos mencionar dos tipos de plantas, el Huizache (*Acacia farnesiana*) y el bambú (géneros de la subfamilia Bambusoideae), las cuales podrían

ser utilizadas para remover arsénico del medio ambiente mientras contribuyen a la economía de la región donde se aplican. A continuación, se describe brevemente su potencial en la remediación de suelo y agua contaminada con arsénico.

El Huizache acumula arsénico mientras crece

El árbol o arbusto *Acacia farnesiana*, comúnmente conocido como Huizache crece en climas áridos, tiene abundante crecimiento de raíz y follaje, y se distribuye ampliamente en México (Figura 2). En el 2008, Armienta y colaboradores [3] reportaron plantas adultas de esta especie creciendo en suelos de sitios mineros altamente contaminados con arsénico en Hidalgo, México, mientras que en experimentos *in vitro* (Figura 2) se ha encontrado que el Huizache puede acumular arsénico en sus raíces y tallos, debido a que tiene mecanismos que le permiten acumular el elemento en sus células y continuar creciendo [1].

Por lo anterior, el uso del Huizache podría ser muy conveniente en estrategias de fitorremediación en zonas de climas áridos, ecosistema al cual está adaptada. Adicionalmente, el uso de esta especie con flores amarillas puede restaurar el paisaje, ya que puede remover el



A



B

Figura 2. Crecimiento de Huizache en condiciones de contaminación con arsénico. A: Huizache creciendo en suelos contaminados con arsénico en una zona minera de clima árido; B: Huizache creciendo en un cultivo artificial (in vitro) contaminado con arsénico.

arsénico del suelo mientras crece en el sitio de remediación por muchos años.

El bambú puede limpiar agua contaminada con arsénico

El bambú es una planta ampliamente distribuida en México, con 55 especies nativas en el país. Debido a los productos derivados de esta planta, el bambú tiene una gran importancia socio cultural. Por ejemplo, con el tallo de algunas especies se construyen paredes de viviendas tradicionales, muebles, se elaboran paneles, reglillas, papel, pisos, textiles, juguetes, diversos utensilios domésticos y biocarbón (Figura 3). Este último puede ser producido a partir de residuos de tallo de bambú que no se usen para para la elaboración de productos comerciales. El biocarbón es un producto carbonizado obtenido por pirólisis, un proceso que consiste en la descomposición térmica de materiales orgánicos con limitado suministro de oxígeno, a temperaturas inferiores a los 700°C. Como resultado de este proceso, el biocarbón contiene grupos químicos en su superficie, que pueden interactuar con el arsénico para secuestrarlo (atraparlo). En los últimos años se ha investigado la capacidad del biocarbón hecho de bambú para remover el arsénico de suelos y agua, y se ha descubierto que este tipo de

biocarbón pueden remover alrededor de 100% del elemento en agua [2].

Falta camino por recorrer

Es evidente que las plantas pueden ser utilizadas para el beneficio del ser humano; más allá de ser alimento básico, pueden ser herramientas tecnológicas para resolver problemas de la sociedad moderna que ponen en riesgo la salud humana, por ejemplo, la contaminación con arsénico de suelos y agua. A pesar de las investigaciones que se han realizado con el Huizache y el biocarbón de bambú con la finalidad de conocer el grado y la forma de remover arsénico, aún es necesario conocer a mayor profundidad los mecanismos que permiten al Huizache acumular el elemento en sus tejidos y al biocarbón de bambú adsorberlo en su estructura, para elaborar estrategias de remediación eficientes, compatibles con los diferentes climas en México, fácilmente aplicables y que contribuyan al valor económico de las especies vegetales mexicanas. La aplicación de métodos de remediación basados en el uso de plantas contribuirá sin duda, al cuidado del medio ambiente y a la economía del país. **BIO**

Referencias

- [1] Alcántara-Martínez, N., Guizar, S., Rivera-Cabrera, F., Anicacio-Acevedo, B. E., Buendía-Gonzalez, L., & Volke-Sepulveda, T. (2016). Tolerance, arsenic uptake, and oxidative stress in *Acacia farnesiana* under arsenate-stress. *International journal of phytoremediation*, 18(7), 671-678.
- [2] Alchouron, J., Bursztyn Fuentes, A.L., Musserc, A., Vegaa, A.S., Mohand, D., Pittman, Ch.U., ... & Navarathna, Ch. (2022). Arsenic removal from household drinking water by biochar and biochar composites: A focus on scale-up. *Sustainable Biochar for Water and Wastewater Treatment*. Elsevier, 277-320.
- [3] Armienta M.A., Ongley L.K., Rodríguez R., Cruz O., Mango H.,

- Villaseñor G. (2008). Arsenic distribution in mesquite (*Prosopislaevigata*) and h uisache (*Acacia farnesiana*) in the Zimapán mining area, México. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 8, 191-197.
- [4] Colín-Torres, C. G., Murillo-Jiménez, J. M., Del Razo, L. M., Sánchez-Peña, L. C., Becerra-Rueda, O. F., & Marmolejo-Rodríguez, A. J. (2014). Urinary arsenic levels influenced by abandoned mine tailings in the Southernmost Baja California Peninsula, Mexico. *Environmental geochemistry and health*, 36(5), 845-854.
- [5] Curiel, P., Mena, G. (13 de diciembre de 2021). Veneno en Agua. *Aristegui Noticias*. <https://aristeguinoticias.com/1312/mexico/veneno-en-mi-agua-investigacion-especial/>
- [6] Zhang, X., Mei, D., Li, Y., You, M., Wang, D., Yao, D., ... & Wang, Y. (2022). Arsenic exposure via drinking water during pregnancy and lactation induces autism-like behaviors in male offspring mice. *Chemosphere*, 290, 133338.

Figura 3. Planta de bambú. Se muestra la planta, los tallos llamados culmos y algunos de sus productos.



Alimentos tradicionales de origen mexicano

¿Cómo contribuyen para combatir la obesidad a través de la microbiota intestinal?

Rebeca Escutia-Gutiérrez^{1*},
Mónica Almeida-López²,
Ana Sandoval-Rodríguez^{1*}

¹.Departamento de Biología molecular y Genómica. Centro Universitario de Ciencias de la Salud. Instituto de Biología molecular en Medicina y Terapia génica. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.

².Centro Universitario de Ciencias de la Salud. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.

*Autores para la correspondencia:
rebeca.escutia@academicos.udg.mx; anasol44@hotmail.com

Concientifica

En los últimos años se han asociado al desarrollo de obesidad distintos factores de riesgo; como una dieta alta en grasas, actividad sedentaria y factores genéticos. Sin embargo, cada vez existe más evidencia científica sobre el desequilibrio en la microbiota intestinal con múltiples condiciones, entre ellas la obesidad. La obesidad se caracteriza por un exceso de grasa corporal que se clasifica a través del índice de masa corporal (IMC); el cual es la relación del peso (kg) sobre la estatura (m) de una persona al cuadrado. Un IMC igual o mayor a 30kg/m² es el punto de corte empleado como marcador clínico para diagnosticar obesidad en adultos [1]. La microbiota intestinal es el conjunto de microorganismos que participan en la regulación del metabolismo humano a través de la producción de metabolitos secundarios, como los ácidos grasos de cadena corta, en particular el butirato, que tiene propiedades antiinflamatorias. La alteración de la microbiota intestinal -disbiosis- interviene en la patogénesis de la obesidad a través de múltiples mecanismos, como la alteración del balance energético, la síntesis y el almacenamiento de grasas, la regulación del apetito y la inflamación crónica generalizada de bajo grado [2].

Por este motivo, se necesitan estrategias de intervención para restablecer y equilibrar una microbiota intestinal óptima, particularmente por los cambios que se inducen con dietas altas en grasas y azúcares. Una dieta con adición de alimentos funcionales puede mejorar la salud intestinal de la población con obesidad. Los alimentos tradicionales de origen mexicano son aquellos empleados por los indígenas en épocas

prehispanicas y que se han preservado en la cultura alimentaria de nuestra región. Estos alimentos contienen distintos nutrimentos como vitaminas, minerales, antioxidantes y prebióticos, y gran parte de ellos son considerados alimentos funcionales y prebióticos [3]. El término prebiótico se aplica a un ingrediente alimentario no digerible que favorece al huésped estimulando selectivamente el crecimiento y/o la actividad de una o un número limitado de bacterias en el colón y con consecuencias generalmente benéficas en la salud del huésped [4]. Los alimentos de la dieta tradicional mexicana como nopal, cacao, grillo, frijol común y aguacate contienen componentes bioactivos que han sido investigados en el tratamiento coadyuvante de la obesidad debido a que mejoran la microbiota intestinal, poseen efectos antioxidantes y antiinflamatorios, así como disminuyen el peso corporal y el perfil lipídico (Figura 1).

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una cactácea de origen mexicano; su uso en los platillos es frecuente y se tienen registros de su consumo desde hace más de 9 mil años. El nopal posee actividades farmacológicas como agente antioxidante, antiinflamatorio, hipoglucémico y antihipercolesterolémico; por lo que se emplea en la medicina tradicional mexicana. El nopal es considerado un alimento funcional y prebiótico, debido a que contiene componentes bioactivos

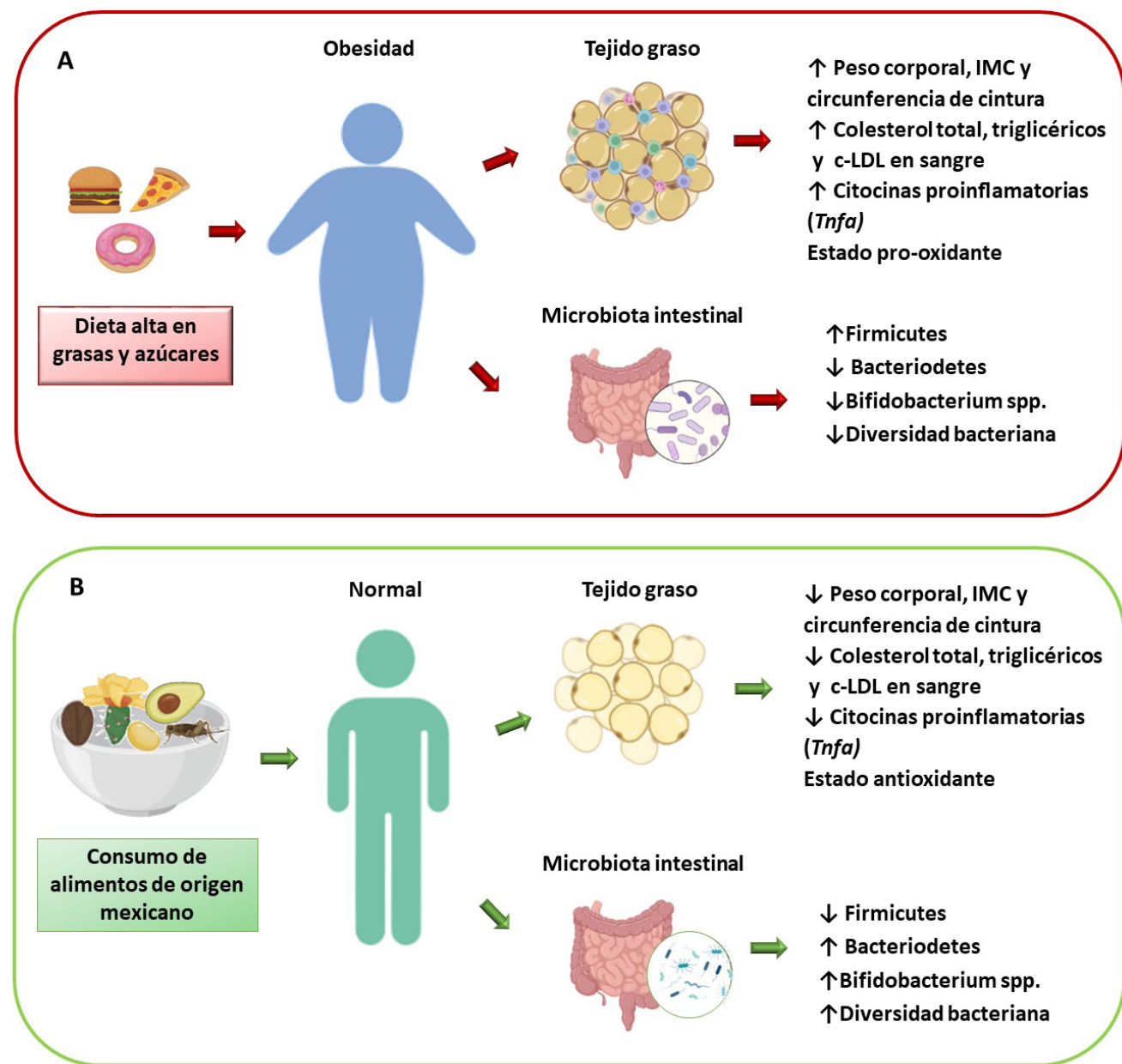


Figura 1. Desequilibrio en peso corporal, perfil lipídico y microbiota intestinal en individuos con obesidad. (A) La obesidad induce citocinas proinflamatorias, estrés oxidativo y niveles elevados de lípidos en el tejido graso. (B) El consumo de alimentos tradicionales de origen mexicano (cacao, nopal, aguacate, frijol común y grillo) como terapéutica coadyuvante, mejora la microbiota intestinal, tiene efectos antioxidantes y antiinflamatorios, además, disminuye el peso corporal y el perfil lipídico. IMC: índice de masa corporal; c-LDL: colesterol de lipoproteínas de baja densidad; *Tnfa*: factor de necrosis tumoral alfa.

como la fibra soluble e insoluble, que tienen diferentes funciones fisiológicas en el tracto gastrointestinal [5]. El consumo de la fibra proveniente del nopal modifica la composición de la microbiota intestinal, aumentando la diversidad bacteriana intestinal en géneros específicos como, *Bifidobacterium* spp. y disminuyendo el filo de *Firmicutes* en pacientes con obesidad. También aumenta la fermentación en el ciego (gracias a los ácidos grasos de cadena corta), lo cual conduce a la disminución de biomarcadores de inflamación intestinal (citocina proinflamatoria IL-6) y del estrés oxidativo. El *Opuntia ficus-indica* contiene

carotenoides, aminoácidos, fenoles, flavonoides, betaxantina y betacianina, que actúan como antioxidantes. El consumo del nopal disminuye los niveles sanguíneos de glucosa, colesterol total, c-HDL (colesterol sérico de lipoproteínas de alta densidad) y triglicéridos en pacientes con Obesidad [6].

El cacao (*Theobroma cacao*) es una planta originaria de México conocida por contener una elevada cantidad de polifenoles con efectos beneficiosos en la salud. Debido a su capacidad antioxidante, destacan la epicatequina, catequina y procianidinas y quercetina. También se ha

reportado la presencia de otros polifenoles en menores cantidades, como antocianinas, ácidos fenólicos y estilbenos [7]. El cacao ejerce efectos prebióticos, como demuestra su capacidad para reestructurar la diversidad bacteriana y el crecimiento significativo de bacterias intestinales como *Bifidobacterium* spp. en pacientes con obesidad. El consumo regular de cacao en polvo y/o chocolate oscuro se ha relacionado con la disminución de parámetros antropométricos en personas con sobrepeso y obesidad como el peso corporal, índice de masa corporal (IMC) y la circunferencia de cintura [8].

Los grillos (*Acheta domesticus*) comprenden un grupo de insectos comestibles ricos en proteína de alta calidad (aproximadamente 70 %), ácidos grasos omega-3 y omega-6, y antioxidantes. Además, de un elevado contenido en minerales como cobre, selenio, hierro, zinc, calcio, magnesio, manganeso y fósforo, así como en vitaminas como biotina, riboflavina, ácido pantoténico y ácido fólico. El consumo de grillos se ha asociado con la reducción de los niveles séricos de colesterol, inhibiendo la biosíntesis endógena (producido o sintetizado dentro del organismo) mediante la actividad de la enzima 3-hidroxi-3-metil-glutaril CoA (HMG-CoA) reductasa [9]. El consumo de grillos favorece el crecimiento de la bacteria probiótica *Bifidobacterium animalis*, se ha asociado a una reducción de niveles séricos de la citocina proinflamatoria *Tnfa*, lo cual puede mejorar la salud intestinal y reducir la inflamación sistémica en pacientes con obesidad [10].

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se cultivó por primera vez en México y Perú hace 8000 años y actualmente se cultiva en todo el mundo. Posee un alto contenido en fibra y otros prebióticos con potencial para influir positivamente en las interacciones dieta-microbiota-huésped, debido a que aumentan las bacterias del filo *Bacteroidetes*, que se asocian a beneficios para la salud [11]. Se ha descrito la eficacia de la ingesta de frijol común para regular el colesterol sérico y los perfiles lipídicos. Diversos estudios han reportado que el consumo de frijol común contribuye significativamente a la promoción de la saciedad, produce la pérdida de peso corporal en sujetos con obesidad, así como la reducción de la circunferencia de cintura y

c-LDL (colesterol sérico de lipoproteínas de baja densidad) [12].

El aguacate (*Persea Americana* Mill.), perteneciente a la familia *Lauraceae*, es una fruta nativa de México, América Central y Sudamérica. El aguacate tiene un alto porcentaje de ácidos grasos (aproximadamente 15% en peso), predominantemente monoinsaturados (MUFAs), con predominio de ácido oleico. Se ha reportado que las altas concentraciones de MUFAs del aguacate pueden mejorar el perfil lipídico, así como la reducción del peso corporal en personas con obesidad. El aguacate contiene vitamina B, vitamina E, magnesio, potasio y fitoquímicos como carotenoides, fenoles y fitoesteroles. El beta-sitosterol, un componente bioactivo del aguacate, regula los niveles de colesterol disminuyendo el riesgo de formación de placas aterogénicas [13]. Los aguacates son ricos en fibra, incluyendo hemicelulosas solubles y pectinas que pueden ser metabolizadas por microorganismos intestinales para producir ácidos grasos de cadena corta. El tratamiento con aguacate aumenta la diversidad de la microbiota intestinal de *Faecalibacterium*, *Lachnospira* y *Alistipes*, que son bacterias capaces de fermentar la fibra, lo que demuestra que este alimento rico en nutrientes afecta a la fisiología digestiva, así como a la composición y las funciones metabólicas de la microbiota intestinal [14].

Ante la actual epidemia de obesidad que afecta a gran parte de la sociedad occidental, se investigan tratamientos sostenibles, accesibles y eficaces para combatir esta crisis de salud pública. Aunque la etiología de la obesidad es multifactorial y compleja, los estudios recientes implican a la disbiosis intestinal (alteración en la microbiota intestinal) como un factor clave que contribuye a su desarrollo y a las anomalías metabólicas asociadas. Por lo que la modulación de la microbiota intestinal para restablecer un estado metabólico favorable se haya convertido en los últimos años en un área de investigación de gran interés [15].

Los alimentos tradicionales de origen mexicano estimulan el crecimiento de las principales cepas benéficas en la microbiota intestinal como *Bifidobacterium* debido a su contenido en prebióticos; además se asocian a la disminución de peso corporal y de tejido

adiposo. Así mismo, ejercen efectos positivos sobre parámetros metabólicos como el control glucémico, la inflamación sistémica y la ingesta energética. Los prebióticos muestran una eficacia considerable para restablecer la microbiota intestinal, así como, modular gran parte de los mecanismos patológicos asociados con el desarrollo y las consecuencias metabólicas de la obesidad. Además de sus características funcionales y de promoción de la salud, los prebióticos presentan propiedades fisicoquímicas únicas que pueden mejorar los alimentos más allá de los perfiles nutricionales; como la experiencia sensorial del consumidor mediante la modulación de la textura y el sabor [16].

Los alimentos tradicionales de origen mexicano como nopal, cacao, grillos, frijol común y aguacate pueden considerarse una terapia potencial para el tratamiento y la prevención de la obesidad, tanto por la modificación a la dieta misma, como por la adición de ingredientes alimentarios funcionales ricos en prebióticos que puedan incorporarse a los alimentos existentes. Por lo tanto, resulta enriquecedor retornar al consumo de los alimentos tradicionales de origen mexicano por su diversidad de componentes bioactivos con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antihipercolesterolémico.

Referencias

- [1] Apovian C. M. (2016). Obesity: definition, comorbidities, causes, and burden. *The American journal of managed care*, 22(7 Suppl), s176-s185.
- [2] Liu, B. N., Liu, X. T., Liang, Z. H., & Wang, J. H. (2021). Gut microbiota in obesity. *World journal of gastroenterology*, 27(25), 3837-3850.
- [3] Valerino-Perea, S., Lara-Castor, L., Armstrong, M. E. G., & Papadaki, A. (2019). Definition of the Traditional Mexican Diet and Its Role in Health: A Systematic Review. *Nutrients*, 11(11), 2803.
- [4] Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., et al. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature reviews. Gastroenterology & hepatology*, 14(8), 491-502.
- [5] El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, et al. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules* (Basel, Switzerland), 19(9), 14879-14901.
- [6] Corona-Cervantes, K., Parra-Carriedo, A., Hernández-

Quiroz, F., Martínez-Castro, N., et al. (2022). Physical and Dietary Intervention with *Opuntia ficus-indica* (Nopal) in Women with Obesity Improves Health Condition through Gut Microbiota Adjustment. *Nutrients*, 14(5), 1008.

- [7] Ali, F., Ismail, A., & Kersten, S. (2014). Molecular mechanisms underlying the potential antiobesity-related diseases effect of cocoa polyphenols. *Molecular nutrition & food research*, 58(1), 33-48.
- [8] Tzounis, X., Rodriguez-Mateos, A., Vulevic, J., Gibson, G. R., et al. (2011). Prebiotic evaluation of cocoa-derived flavanols in healthy humans by using a randomized, controlled, double-blind, crossover intervention study. *The American journal of clinical nutrition*, 93(1), 62-72.
- [9] Acosta-Estrada, B. A., Reyes, A., Rosell, C. M., Rodrigo, D., & Ibarra-Herrera, C. C. (2021). Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products. *Frontiers in nutrition*, 8, 687712.
- [10] Stull, V. J., Finer, E., Bergmans, R. S., Febvre, H. P., et al. (2018). Impact of Edible Cricket Consumption on Gut Microbiota in Healthy Adults, a Double-blind, Randomized Crossover Trial. *Scientific reports*, 8(1), 10762.
- [11] Thompson, H. J., McGinley, J. N., Neil, E. S., & Brick, M. A. (2017). Beneficial Effects of Common Bean on Adiposity and Lipid Metabolism. *Nutrients*, 9(9), 998.
- [12] Lutsiv, T., McGinley, J. N., Neil-McDonald, E. S., Weir, T. L., Foster, M. T., & Thompson, H. J. (2022). Relandscaping the Gut Microbiota with a Whole Food: Dose-Response Effects to Common Bean. *Foods* (Basel, Switzerland), 11(8), 1153.
- [13] Khan, N. A., Edwards, C. G., Thompson, S. V., Hannon, B. A., Burke, S. K., Walk, A. D. M., et al. (2021). Avocado Consumption, Abdominal Adiposity, and Oral Glucose Tolerance Among Persons with Overweight and Obesity. *The Journal of nutrition*, 151(9), 2513-2521.
- [14] Thompson, S. V., Bailey, M. A., Taylor, A. M., Kaczmarek, J. L., et al. (2021). Avocado Consumption Alters Gastrointestinal Bacteria Abundance and Microbial Metabolite Concentrations among Adults with Overweight or Obesity: A Randomized Controlled Trial. *The Journal of nutrition*, 151(4), 753-762.
- [15] Green, M., Arora, K., & Prakash, S. (2020). Microbial Medicine: Probiotic and Prebiotic Functional Foods to Target Obesity and Metabolic Syndrome. *International journal of molecular sciences*, 21(8), 2890.
- [16] Torres-Maravilla, E.; Méndez-Trujillo, V.; Hernández-Delgado, N.C.; Bermúdez-Humarán, L.G.; et al. (2022). Looking inside Mexican Traditional Food as Sources of Synbiotics for Developing Novel Functional Products. *Fermentation*, 8(3), 123

Publica con nosotros

¿Qué artículos se reciben?

Se aceptarán trabajos escritos en español o inglés cuyo tema central sean la biotecnología o los bioprocesos. Se publican únicamente artículos originales y de revisión, siempre y cuando su objetivo sea la divulgación. Los trabajos deberán estar escritos con lenguaje sencillo, siendo el público objetivo estudiantes de licenciatura y posgrado.

¿Quién puede escribir?

Se reciben colaboraciones de técnicos, investigadores, administrativos, alumnos, representantes de empresas de base científica, divulgadores y periodistas científicos de cualquier institución nacional o internacional.

¿Qué debe contener tu manuscrito?

- Título del artículo** (Máximo 6 palabras).
- Subtítulo** (Opcional, máximo 8 palabras).
- Autor(es)**: Nombres y apellidos de cada autor acompañados de su afiliación institucional, en caso de existir. Máximo se aceptan 3 autores para secciones largas, y dos para secciones cortas. Incluir el correo electrónico del autor de correspondencia.
- Resumen**: Máximo 100 palabras.
- Palabras clave** (3 palabras clave que describan el contenido del manuscrito).
- Texto**: Mínimo 9,000 y máximo 10,000 caracteres totales para secciones largas. Mínimo 4,500 y máximo 5,000 caracteres totales para secciones cortas. El conteo de caracteres totales incluye espacios. La extensión del texto no incluye las referencias, los títulos, los datos de los autores, las palabras clave, el resumen ni los pies de figura.
- Por lo menos 1 imagen citada en el texto y entre 2 y 3 imágenes adicionales**, sin derechos de autor o referenciadas, que apoyen al entendimiento de su manuscrito. Todas las anteriores deben estar en formato PNG, JPG o JPEG, mínimo de 300 ppi y requieren estar acompañadas de su correspondiente pie de figura.
- Referencias**: En formato APA, incluyendo identificador DOI, citas dentro del texto entre corchetes y en negritas. Mínimo 2 y máximo 6 referencias.

¿Cómo envío mi manuscrito?

Revisa información complementaria y envía tu manuscrito a través de nuestra plataforma:

<http://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/about/submissions>

Revista de
divulgación
científica

iBIO

