

Revista de
divulgación
científica

iBIO

Biología a la vanguardia



Retos actuales

Revista de divulgación científica iBIO, Año 6, No. 1, marzo 2024 - junio 2024, 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: 17 de febrero de 2024. Tamaño del archivo: 19.07 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.

Imagen de portada de: [cdd20](#)



<http://revistaibio.com/>



[/revista.ibio](#)



[ibio.revista](#)

Directorio

Editor en jefe

Jessica Sánchez Vargas
Isauro Guzmán Cortez

Comité editorial

Gpe. Tonantzin de Dios Figueroa
Francisco J. Valdés Parada

Editores de sección

Olga B. Benítez López
Isauro Guzman Cortez
Ana Paulina Gómez Flores
Gpe. Tonantzin de Dios Figueroa
Francisco J. Valdés Parada
Viridiana W. Velázquez Vázquez

Galerado

Jessica Sánchez Vargas

Redes sociales

Bryan A. Polito Palma

Contenido

Artículo	Pag.	Dificultad de la lectura
Hot Science Desechos electrónicos: Un reto biotecnológico. <i>Kelly Reyes-Barreto, María Isabel Neria-González</i>	4	
Redes Consortio de investigación en la búsqueda de terapias contra el virus SARS-CoV-2: Investigación sobre los anticuerpos que neutralizan la infección. <i>Norma A. Valdez-Cruz, Francisco E. López-Salas, Mauricio Trujillo-Roldán</i>	10	
Concientifica <i>Taxus globosa</i> y <i>Ustilago maydis</i> sus raíces ancestrales y aplicaciones farmacéuticas. <i>Alexa Hernández Hernández, Keila Reyes Rivera, Elda A. Flores Contreras</i>	15	
Efecto de la cetosis en la aterosclerosis. <i>Lidia Arely Reyes Castañeda, María Isabel Neria González</i>	21	
Todas las piezas en su lugar: aplicación de la ciencia y tecnología en salud. <i>Marycarmen Godínez-Victoria, Alma Mireya Ordoñez-Rodríguez, Ereth Ameyatzin Robles-Chávez</i>	27	
Retos que enfrenta la carne sintética para su incorporación en el mercado Carne sintética: del laboratorio a su mesa. <i>Ilse Lilian Reyes Campos, Minji Gallegos Muñoz, Elda A. Flores Contreras</i>	33	
Aguas residuales de rastros municipales: El impacto inadvertido en el entorno rural. <i>Oscar Marin-Peña, Luis C. Sandoval-Herazo, Alejandro Alvarado-Lassman</i>	39	
Bioemprendimientos Microorganismos para la descontaminación del agua. <i>Isauro Guzman Cortez, Raziel Cachón Herrera</i>	45	
Microbichos Los virus: “Amigos” o “enemigos” de la humanidad. <i>Adriana Contreras-Paredes, Pilar Ramos-Godínez</i>	51	
El Pulque: un regalo de los Dioses. <i>Concepción Calderón García, Edith Ponce Alquicira, Yesica Ruiz Ramírez</i>	57	



Hot Science



Desechos electrónicos: Un reto biotecnológico

Kelly Reyes-Barreto
María Isabel Neria-González*

División de Ingeniería Química y Bioquímica
TecNM: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Edo. de México, México.

*Autor para la correspondencia:
mineriag@tese.edu.mx

Resumen

Los desechos electrónicos son un problema a nivel mundial, ya que contienen metales pesados que afectan la salud humana y al ambiente. Sin embargo, la biotecnología ofrece una alternativa para disminuir el impacto ambiental con beneficios económicos. Esta se conoce como biolixiviación, un proceso que hace uso de bacterias con la capacidad de promover la solubilidad de los metales contenidos en los desechos electrónicos. Siendo así una contribución prometedora para la resolución del problema de contaminación e impacto generado por los desechos electrónicos.

Palabras clave: Biolixiviación, biotecnología, desechos electrónicos.

¿Qué es un residuo electrónico?

Los aparatos electrónicos se han vuelto una parte fundamental de nuestro día a día. Sin embargo, cuando uno de estos aparatos se vuelven obsoletos, o se descomponen, en lugar de arreglarlo, solo lo arrojamos a la basura. Por otra parte, quizás solamente buscamos el teléfono que esté de moda, una computadora con mejor procesador o una consola de videojuegos de última generación, todo esto sin pensar en la cantidad tan excesiva de desechos electrónicos que generamos.

Pero ¿Qué es un desecho electrónico? Bien, un desecho electrónico es denominado como: “cualquier aparato eléctrico o electrónico cuyo periodo de vida útil ha concluido” [1].

Una vez que tenemos claro que es un desecho electrónico ¿Se han preguntado la cantidad de desechos electrónicos que se generan

a nivel mundial y en México anualmente? Se estima que se generan alrededor de 50 millones de toneladas en el mundo [2], siendo China, India, Estados Unidos, Japón y Brasil los países con la mayor producción de residuos electrónicos. A nivel nacional, la mayor cantidad de residuos está en la CDMX con un total de 117,000 toneladas, seguido de Jalisco con una cantidad de 82,000 y Baja California con 58,000 toneladas [3].

Clasificación y composición

De manera general, los residuos electrónicos se clasifican de la siguiente forma: 1. equipos informáticos, 2. equipos de conectividad, 3. equipos de audio y video y 4. equipos de telefonía fija y celular.

La composición de los residuos electrónicos es en su mayoría plásticos, cerámicos, metales y metaloides, dependiendo del dispositivo. En general, la composición de plásticos y cerámicos es un 30% de cada uno de estos materiales, mientras que los metales representan el 40%, dentro del cual el cobre es el principal metal encontrado, teniendo un porcentaje de entre 20 al 50%, seguido del hierro, con 8-20%, níquel del 2-5%, plomo 2%, y metales preciosos en porcentajes bajos de entre 0.3-0.4% [4]. En la figura 1, se muestra una gráfica de los porcentajes que representan cada uno de los componentes de un celular y la cantidad porcentual de metales contenidos.

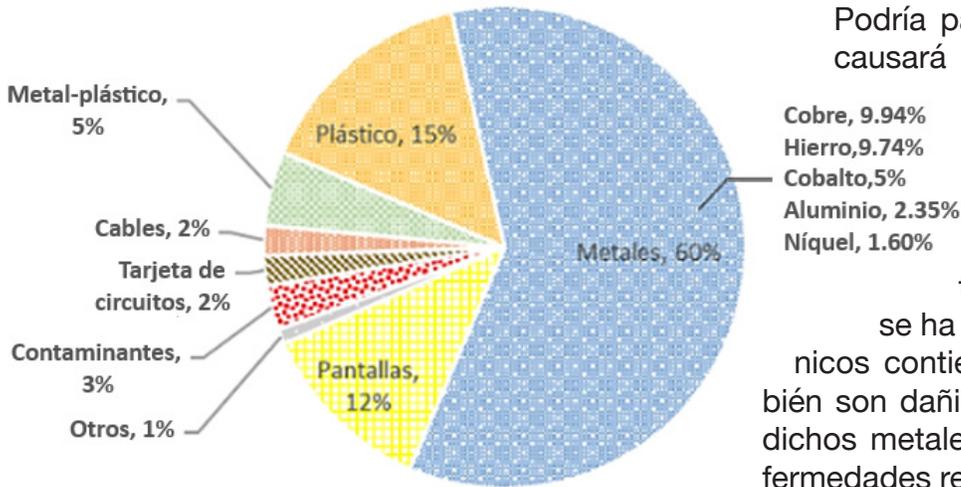


Figura 1. Composición de residuos electrónicos de teléfonos celulares. Modificado de [5].

También, metaloides como el silicio, arsénico, germanio y antimonio se encuentran en menor cantidad en los desechos electrónicos, de igual manera y en menor proporción, el azufre (no metal) se encuentra en desechos de baterías de automóviles, baterías ácidas de plomo, reguladores de voltaje y almacenamiento de energía, materiales semiconductores, lámparas solares, etc.

Impacto de la basura electrónica

Al igual que cualquier otro desecho que se arroja al suelo o a los cuerpos de agua, los desechos electrónicos traen consigo efectos negativos para los seres humanos, los animales y el ambiente en general.

Los metales pesados como el cadmio, plomo, níquel o mercurio (presentes en los desechos electrónicos) pueden emitir gases tóxicos y se liberan a la atmósfera. También, los metales pueden ser absorbidos en el suelo y a su vez ser arrastrados a los ríos, lagos y mares aumentando su concentración en diferentes formas de vida. El impacto de los metales en el ambiente es muy grande, hasta el grado de que se sabe que la batería de un teléfono celular es capaz de contaminar 50,000 litros de agua por su contenido de níquel y cadmio, o bien un televisor puede contaminar con metales hasta 80,000 litros de agua [2].

Podría parecer a simple vista que no se causará un problema de manera inmediata, sin embargo, la continua exposición de estos residuos en el ambiente provocará una serie de daños irreversibles y un desequilibrio en el ecosistema. Por otra parte, y como ya se ha revisado, estos aparatos electrónicos contienen diversos metales que también son dañinos para el ser humano, ya que dichos metales son capaces de provocar enfermedades respiratorias, problemas cutáneos, y si la exposición a estos es prolongada, cabe la posibilidad de desarrollar enfermedades más graves como el cáncer.

Se considera que la producción de aparatos electrónicos a nivel mundial es de los sectores de mayor crecimiento, pero a medida que la tasa de producción va en aumento, también lo hace la cantidad de desechos que se generaran. Por lo que, la pregunta que surge es: ¿Qué ocurre con todos esos desechos?

En primera instancia, al no tener la cultura del reciclaje y disposición correcta de dichos aparatos, cuando han cumplido con su vida útil, simplemente los echamos a la basura y llegan a los vertederos a cielo abierto (Figura 2), ríos, lagos y mares, generando contaminación.



Figura 2. Acumulación de desechos electrónicos [2].

Como puede apreciarse es un gran problema y entonces: ¿Qué se puede hacer al respecto antes de que se produzca un daño permanente? La llamada “biotecnología” podría tener una respuesta a esta problemática a través de lo que se conoce como “biolixiviación”. Sin embargo, primero se tiene que entender a qué le llamamos “biotecnología”, y por qué es tan importante en nuestros días.

¿Qué es la biotecnología?

Contrario a lo que pueda creerse, la biotecnología no es reciente, ya que está surgió en el año de 1919 gracias al ingeniero agrónomo Karl Ereky. Sin embargo, hasta este milenio, gracias a los avances tecnológicos, se ha podido aprovechar su potencial, y es la combinación de la biología y la tecnología con el fin de modificar o mejorar un proceso.

Sus aplicaciones van desde la elaboración del pan, el vino y la cerveza, mejoramiento de medicamentos, obtención de cultivos agrícolas más productivos, la biorremediación ambiental entre otras. En este caso particular, nos enfocaremos en una de las aplicaciones que tiene en el tratamiento y aprovechamiento de desechos electrónicos que afectan el ambiente mediante el uso de la biolixiviación.

Biolixiviación ¿Una posible solución?

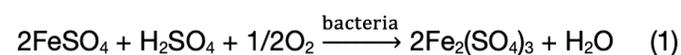
La biolixiviación es un proceso en el que se disuelven metales en un medio ácido con el uso de microorganismos. De manera común, este proceso se presenta en la naturaleza y se utiliza en la industria minera, cuando la cantidad del metal de valor es muy reducido o se encuentra en combinación con minerales que no permiten su exposición al medio de disolución.

Sin embargo, aquí abordaremos como este proceso se puede aplicar en la recuperación de metales como cobre, oro, plata, estaño, cadmio, platino, etcétera, a partir de los desechos electrónicos.

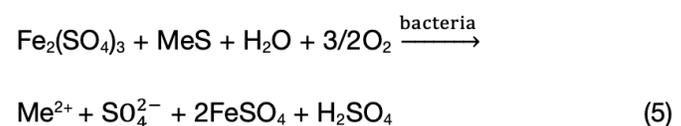
Los microorganismos más utilizados para la biolixiviación de metales son las bacterias

denominadas “quimiolitotórfas”, que son aquellas que tienen la capacidad de utilizar el CO₂ como fuente de carbono y compuestos inorgánicos como el hierro ferroso, azufre elemental o incluso amoníaco como fuente de energía, en presencia de oxígeno.

Por lo anterior, el proceso de lixiviación de los desechos electrónicos se puede acelerar por las bacterias quimiolitotórfas debido a su capacidad oxidante del hierro y/o azufre. Los iones de hierro se modifican, pasando de hierro ferroso (Fe²⁺) a hierro férrico (Fe³⁺), reacción (1). Mientras que, el azufre (S⁰) es convertido a ácido sulfúrico (H₂SO₄), tal como se ilustra en la reacción (2):



Una vez producido el ácido sulfúrico y los iones férricos, se promueve los procesos de acidólisis y de redoxólisis, como se muestra en las reacciones (3) – (5):



Por lo tanto, las bacterias ayudan a la formación de los agentes lixiviantes (Fe³⁺ y H₂SO₄) que favorecen la liberación del o los metales (Me) presentes, es decir, se promueve la formación de sulfatos metálicos, que a su vez se disocian para formar iones metálicos (Me²⁺) y sulfatos en un medio acuoso ácido, y posterior recuperación por métodos físicos [6].

Las bacterias quimiolitotórfas más estudiadas y aplicadas en procesos de lixiviación tanto en cultivos puros o consorcios se muestran en la tabla 1.

Sin embargo, *Acidithiobacillus ferrooxidans* es la cepa bacteriana más utilizada debi-

Tabla 1. Especies y consorcios bacterianos utilizados en procesos de biolixiviación de metales de desechos electrónicos [6].

Especies	Consortios
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> , <i>Leptospirillum ferriphilum</i> , <i>Acidithiobacillus caldus</i> , <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> , <i>Sulfobacillus sp.</i> , y <i>Ferroplasma sp.</i>
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	
<i>Acidiphilium acidophilum</i>	
<i>Sulfobacillus thermo sulfoxidans</i>	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> y <i>Acidithiobacillus acidophilum</i>

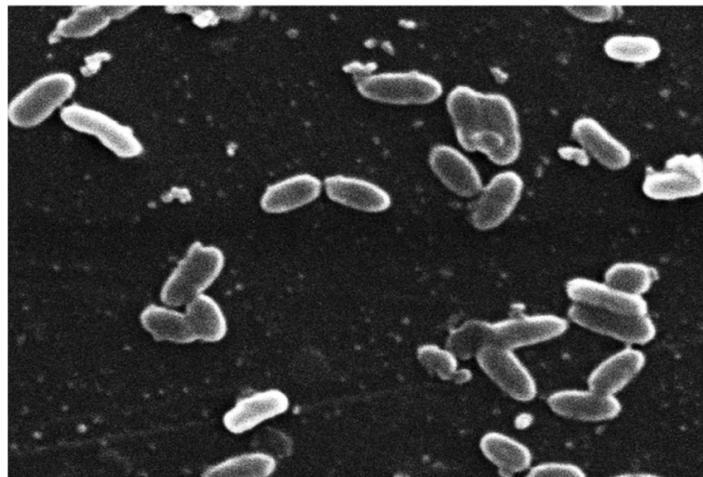


Figura 3. *Acidithiobacillus ferrooxidans* [7].

do a sus características fisiológicas (Figura 3), quien presenta una alta resistencia a la toxicidad de los metales y crece bajo condiciones muy ácidas, lo que favorece la disolución de los metales en el medio, y no requiere de una fuente de carbono orgánica, ya que es capaz de utilizar el CO₂ de la atmósfera. Por lo que, la bacteria es utilizada para procesos de biolixiviación de metales como cobre, hierro, níquel y plomo, provenientes de desechos electrónicos.

Una vez conocidos los mecanismos realizados durante la biolixiviación, y las bacterias que pueden ser utilizados, se requiere conocer como es el proceso desde que se tienen los desechos electrónicos hasta la obtención de los metales.

Una propuesta del procedimiento es que los componentes electrónicos son desensamblados y pulverizados obteniéndose un polvo de los circuitos. Posteriormente, el polvo se coloca en un matraz que contiene las bacterias,

que llevarán el proceso de biolixiviación; una vez que se haya completado el proceso se obtendrán los metales de interés, siempre y cuando se consideren las condiciones idóneas en las que se desarrollan las bacterias utilizadas. Dicho proceso se muestra en el esquema de la figura 4.

Beneficios de la biolixiviación

La biolixiviación ofrece beneficios para el ambiente, ya que, puede reducir o evitar el uso de productos químicos como el ácido sulfúrico y cianuro, lo que puede reduce el impacto ambiental.

Por otro parte, los costos energéticos y de operación son bajos, y mediante su aplicación, se obtiene un producto valioso o de interés como la recuperación de cobre, litio entre otros, lo que genera retribuciones económicas.

Una oportunidad para el futuro

Como se puede apreciar en la lectura del artículo, el problema de la generación de desechos electrónicos es un aspecto preocupan-

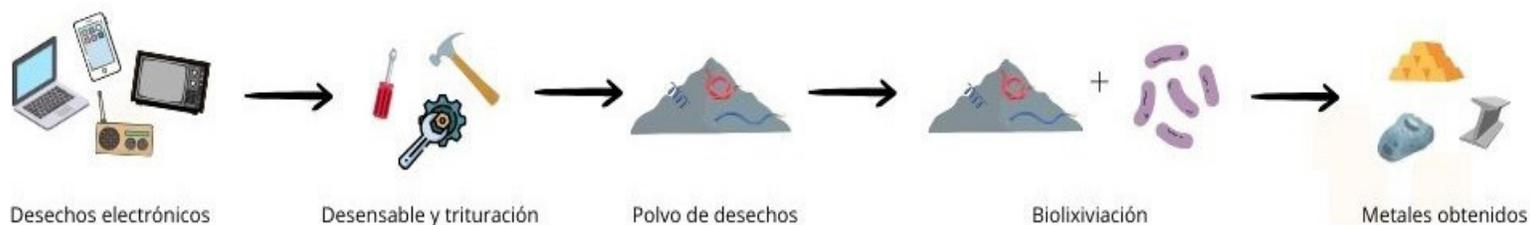


Figura 4. Tratamiento general de los desechos electrónicos para la obtención de metales.

te hoy en día, que requiere el uso de procesos como el de la biolixiviación para contrarrestar su impacto. Sin embargo, como sociedad, se debe hacer conciencia sobre esto, ya que se puede disminuir este impacto mediante el compromiso de la población de reducir el consumo de productos electrónicos, para no seguir generando un exceso de desechos. **iBIO**

Referencias

- [1] Becerra, D., Hernández, A., Díaz, E., Cedano, K., & Martínez, H. (2020). Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Impacto social, ambiental, gestión y metodologías sobre su manejo. *enerLAC*, 4(2), 108-131. ISSN: 2631-2522. <http://enerlac.olade.org>
- [2] Flores, J. (18 de enero de 2023). La basura electrónica y su peligro para el medio ambiente. *National Geographic España*. https://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/peligros-basura-electronica_13239
- [3] *Recicla tus dispositivos*. (5 de mayo de 2020). Procuraduría Federal del Consumidor. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/recicla-tus-dispositivos?idiom=es>
- [4] Martínez, A., Cuevas, D., & Osuna, J. (2019). Gestión de desechos electrónicos en la Universidad Autónoma de Sinaloa, Campus Mazatlán. *Revista De Investigación En Tecnologías De La Información*, 7(13), 53-60. <https://riti.es/index.php/riti/article/view/122>
- [5] Araiza, J., Escobar, K., & Nájera, J. (2016). Diagnóstico de generación y manejo de los residuos eléctricos y electrónicos en instituciones educativas: un caso de estudio. *Ingeniería*, 20(2), 115. ISSN: 1665-529X. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750928006>
- [6] Adetunji, A., Oberholster, P., & Erasmus, M. (2023). Bioleaching of Metals from E-Waste Using Microorganisms: A Review. *Minerals*, 13, 828. <https://doi.org/10.3390/min13060828>
- [7] Gao, Q., Tang, D., Song, P., Zhou, J., & Li, H. (2018). Bio-adsorption and Bio-transformation of Arsenic by *Acidithiobacillus ferrooxidans* BY3. *International Microbiology*, 21(4), 207-214. <https://doi.org/10.1007/s10123-018-0017-y>

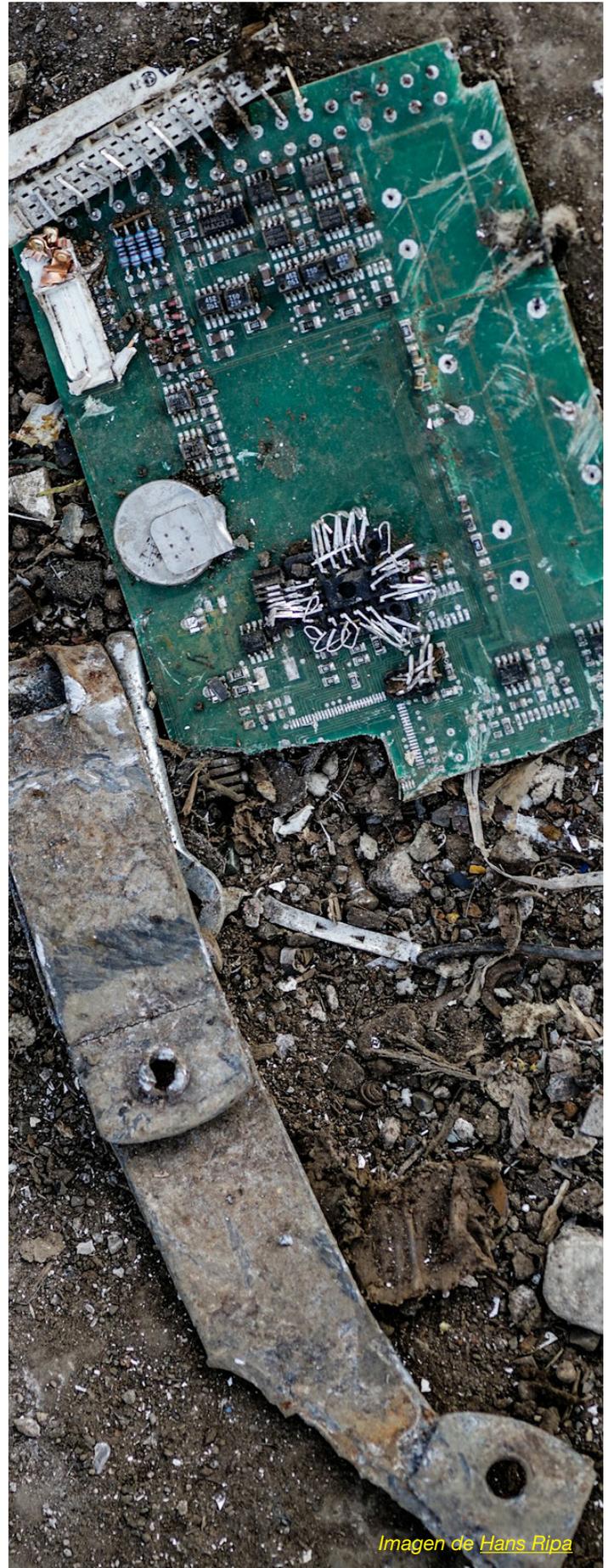
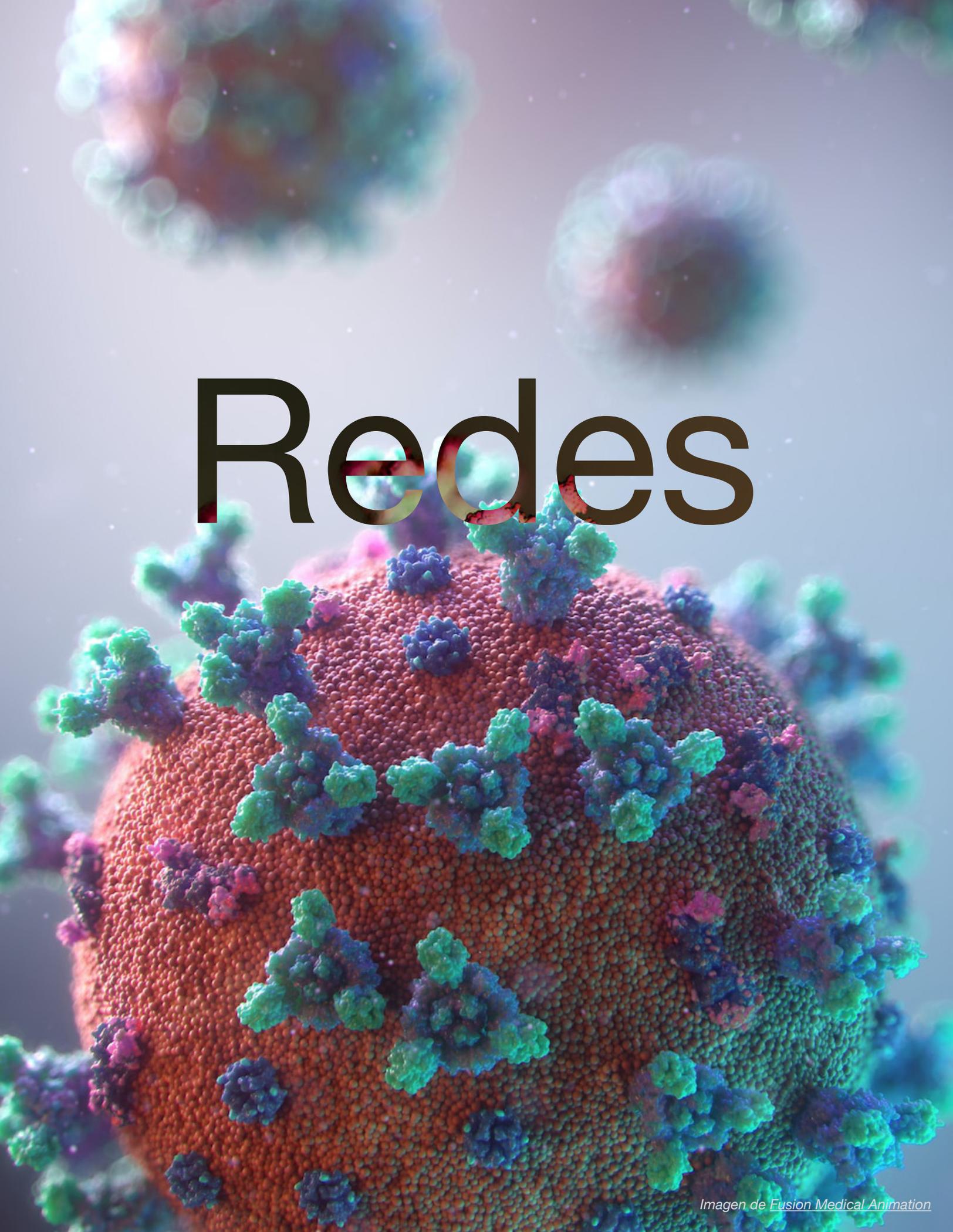


Imagen de Hans Ripa

Redes



Consortio de investigación en la búsqueda de terapias contra el virus SARS-CoV-2

Investigación sobre los anticuerpos que neutralizan la infección

Norma A. Valdez-Cruz*
Francisco E. López-Salas
Mauricio A. Trujillo-Roldán

Departamento de Biología Molecular y Biotecnología,
Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad
Nacional Autónoma de México, AP. 70228, México,
D.F., CP. 04510, México.

*Autor para la correspondencia:
adri@iibiomedicas.unam.mx

Resumen

El desarrollo de tratamientos efectivos contra el SARS-CoV-2 y virus similares seguirá siendo un tema de investigación que se deberá atender alrededor del mundo. Aquí presentamos el trabajo de un grupo de investigadores cuyo objetivo principal es coleccionar y caracterizar anticuerpos de pacientes mexicanos, para producirlos de forma recombinante. Esto es parte de un proyecto internacional auspiciado por la Universidad Nacional Autónoma de México. El grupo trabaja en describir la interacción de los anticuerpos y sus blancos, incluyendo la de aquellos que neutralizan al virus. Además, desarrolla tecnología aplicable para el tratamiento de la infección de mutantes futuras del SARS-CoV-2.

Palabras clave: SARS-CoV-2, COVID-19, anticuerpos

pandemia para marzo de 2020 y se declaró por terminada el 5 de mayo de 2023. Hasta el 10 de marzo de 2023, se contabilizaron más de 676 millones de casos, y la muerte de casi 7 millones de personas. La pandemia generó una urgencia para el desarrollo de herramientas para combatir las infecciones. Importantemente, alrededor del mundo más de 350 candidatos vacunales siguen en desarrollo o entraron a fases clínicas. De igual forma, se han descrito otras terapias como el uso de anticuerpos o fármacos antivirales. Fue notoria alrededor del mundo la aprobación de vacunas producidas con plataformas novedosas que han permitido la aplicación de más de 13,490 millones de dosis [1,2].

En diciembre de 2020, la OMS aprobó para uso de emergencia sanitaria varias vacunas, basadas en distintas plataformas tecnológicas [3], como virus inactivados, fracciones proteicas del virus, vacunas recombinantes, vectores virales y aquellas compuestas de ADN o ARN mensajero [2-4]. En México, cinco vacunas fueron empleadas masivamente al inicio del Plan Nacional de Vacunación [4]. La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) aprobó para uso de emergencia: CoronaVac (Sinovac Biotech Ltd., Beijing, China) compuestas de virus inactiva-

Durante los años 2020 a 2023, el síndrome respiratorio agudo severo ocasionado por la infección del coronavirus tipo 2 (SARS-CoV-2), tuvo una propagación rápida e incontrolable en el mundo. Los coronavirus (CoVs) se encuentran ampliamente distribuidos y son virus de RNA de polaridad positiva. La infección por SARS-CoV-2 causante de la enfermedad COVID-19, se convirtió en

dos, BNT162b2 (Pfizer, NY, EE. UU.; BioNTech, Mainz, Alemania) compuesta de ARN mensajero, y las de ADN usando vectores de adenovirus como la vacuna AZD1222 (AstraZeneca, Cambridge, Reino Unido; Universidad de Oxford, Oxford, Reino Unido), Convidecia (Cansino Biologics, Tianjin, China), y Sputnik V (Instituto de Investigación Gamaleya, Moscú, Rusia). Cada una compuesta con elementos que se encargan de presentar o producir en el individuo vacunado las proteínas, o algunas de ellas que componen al virus SARS-CoV-2. Este virus tiene cuatro proteínas estructurales: la nucleocápside (N), la membrana (M), la envoltura (E) y una proteína expuesta en la superficie denominada espiga (S), la cual dirige la entrada del virus a las células a través de su dominio interno de unión al receptor denominado RBD por sus siglas en inglés [5,6]. Este receptor es la enzima convertidora de angiotensina humana (hACE2), el cual se distribuye ampliamente en las células humanas [5]. La proteína S al ser la más expuesta, puede presentar algunos dominios que son reconocidos por el sistema inmune, pudiendo generar una respuesta mediada por anticuerpos. De ahí que la proteína S se ha usado para el diseño racional de vacunas o anticuerpos terapéuticos para prevenir la infección [3,4,6]. La infección por SARS-CoV-2 provoca en los pacientes una variedad de respuestas inmunológicas, que incluyen desde la inmunidad innata hasta la activación de la inmunidad adaptativa. Importantemente, la inmunidad humoral favorece la producción de anticuerpos, entre lo que se encuentran aquellos que neutralizan el virus protegiendo al individuo contra la infección [6].

La efectividad de las vacunas suele variar, debido a diversos factores que afectan la respuesta inmune, entre los que se encuentran, el diseño de la vacuna, el esquema de vacunación y el estado inmunológico del huésped, la infección previa a la vacunación y la mutación del virus. De hecho, hemos observado una diversidad de variantes que incluyen a Wuhan, alfa, beta, gamma, delta, ómicron y la nueva denominada Eris (EG-5). Otro factor relevante es la diversidad de vacunas que se pueden aplicar en un individuo. Recientemente se determinó

la disminución de la efectividad de las cinco vacunas mencionadas en contra las variantes recientes del SARS-CoV-2 como ómicron [8], que afortunadamente es menos mortal, aunque es altamente infectiva. De cualquier forma, se demostró que la vacunación es aún la mejor herramienta para disminuir los casos graves de COVID-19 y reinfecciones. Sin embargo, existen pacientes que no se pueden vacunar o que su sistema inmune no puede producir anticuerpos neutralizantes, para los cuales la terapia con anticuerpos neutralizantes puede disminuir su condición de gravedad. Además, que los anticuerpos recombinantes contra el SARS-CoV-2 se pueden emplear en personal de salud de forma preventiva, pues constantemente se enfrentan al virus. Lo anterior enfatiza la necesidad de investigación, equipos de trabajo y de instalaciones productivas en países como México, con capacidades de desarrollar y producir vacunas y terapéuticos en contra del SARS-CoV-2.

De ahí que un grupo de doce investigadores mexicanos e internacionales nos encontramos estudiando y obteniendo anticuerpos capaces de neutralizar la infección del SARS-CoV-2 obtenidos a partir de sueros de mexicanos, algunos vacunados y otros pacientes recuperados de COVID-19 (Figura 1). Nos hemos enfocado en determinar los anticuerpos con capacidad neutralizante dirigidos hacia la proteína S; para su separación, identificación y posterior producción recombinante. Además, mediante ingeniería de proteínas estamos haciendo modificaciones en los anticuerpos para mejorar su actividad neutralizante contra el virus. En 2021, describimos y compilamos detalles importantes de la interacción entre la proteína espiga y anticuerpos neutralizantes [6]. Actualmente, trabajamos en describir la interacción de los muchos anticuerpos neutralizantes descritos y las nuevas variantes del SARS-CoV-2. La investigación del grupo hasta ahora ha puesto de manifiesto varios resultados, entre los que se encuentran la identificación de anticuerpos neutralizantes en pacientes convalecientes o en personas vacunadas. Los convalecientes moderados o graves desarrollaron un

mayor número de anticuerpos neutralizantes comparado con los casos leves. La colecta de sueros abarcó muestras de pacientes infectados desde 2020 hasta 2022. En todos los casos estudiados se observó la neutralización del virus en una prueba de laboratorio, obteniendo resultados de neutralización del virus similar a los obtenidos usando un anticuerpo anti-S comercial. Además, observamos que la infección generalmente provoca que las personas infectadas tengan por al menos 6 meses anticuerpos neutralizantes.

Por otro lado, a partir de la publicación acelerada de información en el último año sobre la identificación de anticuerpos neutralizantes de humanos, muchos de ellos dirigidos en contra de la proteína S del SARS-CoV-2, he-

mos alimentado nuestras bases de datos, que nos permiten conocer los dominios importantes entre la interacción de la proteína S, los anticuerpos neutralizantes y el receptor hACE2. Así como proponer nuevos anticuerpos, y la descripción de dominios constantes que podrían ser blanco para anticuerpos que puedan neutralizar a la mayoría de las variantes del virus.

La información compilada nos ha permitido comprender las diferentes formas de interacción entre la diversidad de anticuerpos neutralizantes. También, se han dilucidado con éxito regiones de la proteína S que sobresalen y que se mantienen constantes entre las variantes, definiéndose dominios más propensos a ser reconocidos por anticuerpos y que compiten con aquellos de unión con el hACE2. Por

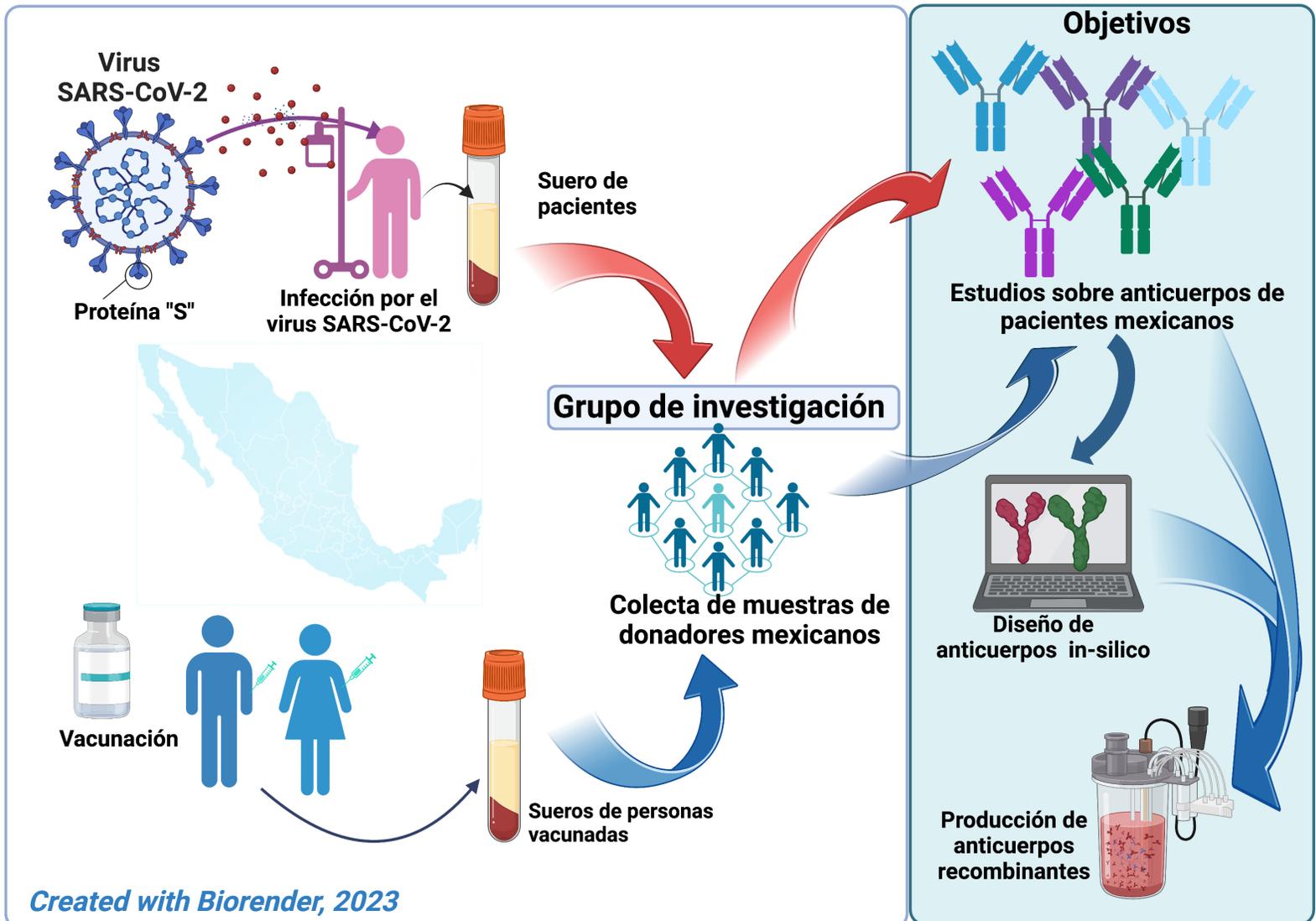


Figura 1. Estrategia y objetivos del trabajo del consorcio de investigación.

ahora, nuestros modelos están siendo comprobados experimentalmente. Todo este trabajo e interacción de los investigadores están permitiendo el diseño de nuevos terapéuticos para el tratamiento de una infección por un virus como el SARS, que podrán ser usados en personas inmunocomprometidas o que no generan suficientes anticuerpos neutralizantes.

La entidad que financia esta investigación es la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de su Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) proyecto número IV201220 con título: Identificación de secuencias de anticuerpos de pacientes COVID-19 mexicanos recuperados y asintomáticos, y desarrollo de anticuerpos monoclonales recombinantes: posible tratamiento. **iBIO**

Definiciones y apoyos de lectura

Los anticuerpos son utilizados por el sistema inmunológico para identificar y neutralizar elementos, como bacterias y virus. Es bien sabido que la respuesta inmunitaria humoral neutralizante es el principal mecanismo para prevenir las infecciones virales.

Los anticuerpos se dividen en cinco isotipos de inmunoglobulina (IgG, IgA, IgM, IgE e IgD).

Referencias

- [1] Our World in Data. 2022. Coronavirus (COVID-19) vaccinations. Our World in Data, Oxford, UK. <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations>.
- [2] World Health Organization. 2022. Coronavirus disease (COVID-19): vaccines. World Health Organization, Geneva, Switzerland. [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-\(covid-19\)-vaccines](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-(covid-19)-vaccines)
- [3] Yadav, T., Kumar, S., Mishra, G., & Saxena, S. K. (2023). Tracking the COVID-19 vaccines: The global landscape. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 19(1), 2191577. <https://doi.org/10.1080/21645515.2023.2191577>

[23.2191577](https://doi.org/10.1080/21645515.2023.2191577)

- [4] Gobierno de la Ciudad de México. 2022. Etapas de vacunación contra el COVID-19 en México. Gobierno de la Ciudad de México, Mexico City, Mexico. <https://www.capital21.cdmx.gob.mx/noticias/?p=6270>.
- [5] Shang J, Ye G, Shi K, Wan Y, Luo C, et al., 2020. Structural basis of receptor recognition by SARS-CoV-2. *Nature*. 2020;581(7807):221–4. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2179-y>
- [6] Valdez-Cruz NA, Garcia-Hernandez E, Espitia C, Cobos-Marin L, Altamirano C, et al., 2021. Integrative overview of antibodies against SARS-CoV-2 and their possible applications in COVID-19 prophylaxis and treatment. *Microbial cell factories*, 20(1), 1-32. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01576-5>
- [7] Duerr R, Dimartino D, Marier C, Zappile P, Wang G, François F, Ortigoza MB, Iturrate E, Samanovic MI, Mulligan MJ, Heguy A. (2023). Selective adaptation of SARS-CoV-2 Omicron under booster vaccine pressure: a multicentre observational study. *eBioMedicine*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.104843>
- [8] Ergoren MC, Akan G, Volkan E, Kandemis E, Evren EU, et al., 2023. The “vaccine” hubbub: Viral load comparisons of SARS-CoV-2 Delta and Omicron variants against different vaccine–booster vaccine combinations. *Journal of Medical Virology*, 95(1), e28309. <https://doi.org/10.1002/jmv.28309>



Imagen de [CDC](https://www.cdc.gov/)

Concientifica



Taxus globosa y *Ustilago maydis*: sus raíces ancestrales y aplicaciones farmacéuticas

Taxus globosa and *Ustilago maydis*: their ancestral roots and
pharmaceutical applications

Resumen

La herbolaria mexicana ha sido una parte intrínseca de la cultura indígena ancestral y ha ejercido una influencia significativa en la vida cotidiana de las comunidades a lo largo de los siglos. Su profunda conexión con la cosmovisión indígena ha trascendido generaciones y ha llegado a impactar en gran medida el desarrollo de la farmacéutica actual. Este artículo de divulgación explora la importancia de la herbolaria mexicana en el ámbito farmacéutico contemporáneo con el ejemplo de *Taxus globosa* y *Ustilago maydis*, destacando sus fundamentos culturales y su relevancia científica.

Palabras clave: Herbolaria, farmacéutica, patentes, culturas indígenas.

Summary

Mexican herbalism has been an intrinsic part of ancestral indigenous culture and has exerted a significant influence on the daily life of communities throughout the centuries. Its deep connection with the indigenous worldview has transcended generations and has come to greatly impact the development of current pharmaceuticals. This dissemination article explores the importance of Mexican herbalism in the contemporary pharmaceutical field with the example of *Taxus globosa* and *Ustilago maydis*, highlighting their cultural foundations and their scientific relevance.

Key words: Herbalism, pharmaceuticals, patents, indigenous cultures.

Alexa Hernández Hernández¹
Keila Reyes Rivera¹
Elda A. Flores Contreras^{1,2*}

¹Tecnológico de Monterrey, School of Engineering and Sciences, Monterrey 64849, México.

²Institute of Advanced Materials for Sustainable Manufacturing, Monterrey 64849, México.

*Autor para la correspondencia:
eldafc@tec.mx

México es considerado como un país megadiverso, debido a la gran variedad de ecosistemas que posee, por lo cual es la cuna de la riqueza de recursos naturales que han sido aprovechados por generaciones [1]. Es así, como nace la herbolología, una práctica proveniente de las comunidades indígenas cargada de una cosmovisión donde la naturaleza se percibe como una entidad sagrada que se interconecta con la vida humana, al emplear las plantas con fines medicinales y rituales.

Desde la época prehispánica, las culturas indígenas han identificado y utilizado diversas especies de plantas medicinales. El traspaso de este conocimiento a las generaciones futuras de familias mexicanas generó un gran impacto tanto social como económico. Esto se debe a que, la mayoría de los practicantes son mujeres, y ellas, aprendieron el uso de estas plantas por negocio familiar [2]. Gracias a esto, actualmente contamos con aproximadamente 4500 especies de plantas registradas oficialmente convirtiéndonos en el segundo país a nivel mundial con el mayor número de plantas

medicinales registradas [3].

Estos conocimientos llenos de tradición promueven una sinergia entre el conocimiento ancestral y la farmacéutica moderna para el desarrollo de nuevos medicamentos y tratamientos. Actualmente, los denominados fitofármacos muestran un aumento en su demanda, y es que algunas plantas con fines medicinales presentan principios activos para la elaboración de estos, e inclusive para otros fármacos comerciales.

Hasta la fecha, es todo un reto para México como para el resto del mundo el desarrollo de nuevos métodos de prevención y diagnóstico, así como tratamientos para cáncer que permitan proveer una mejor calidad de vida.

En este sentido, en México existen innumerables cantidades de plantas y hongos con diversas propiedades, entre las cuales se encuentra *Taxus globosa* (imagen 1) y *Ustilago maydis* (imagen 2). Con respecto a *Taxus globosa*, se sabe que es una gimnosperma dicotiledónea, perteneciente a la familia Taxaceae,

esta planta se encuentra ubicada en diversas regiones del país, como el Estado de México, Puebla, Oaxaca, Veracruz y en la región norte como Tamaulipas y Nuevo León; florece de enero a marzo y fructifica de mayo a noviembre [4]. Esta planta se ha empleado desde tiempos remotos, en culturas indígenas mexicanas con fines medicinales, principalmente para tratar afecciones respiratorias y cardiovasculares. Sin embargo, en la actualidad los compuestos presentes en *Taxus globosa* son de gran interés en la investigación científica, por su posible aplicación en el campo oncológico. Además, *Taxus globosa* se emplea para producir paclitaxel el cual en su esqueleto central de la molécula presenta un anillo de taxano, los cuales son un grupo de medicamentos que actúan como estabilizadores de microtúbulos (estructuras que ayudan a mantener la forma de las células) e impiden el crecimiento celular al inhibir la división celular. El paclitaxel fue el primer taxano empleado en el área de oncología, por lo cual es considerado como un parteaguas para el tratamiento de cáncer en las últimas décadas [5].



Figura 1. *Taxus globosa*

El modo de acción de paclitaxel es mediante la interrupción de la división celular, promoviendo la apoptosis (muerte celular) de células tumorales, lo que lo convierte en un candidato ideal para el tratamiento del cáncer. Sin embargo, la obtención de paclitaxel a partir de *Taxus globosa* no es una tarea sencilla, ya que esta planta contiene el compuesto de interés en pequeñas cantidades y su extracción tradicional es costosa. En este sentido, se ha empleado la biotecnología, como una herramienta poderosa para aumentar la producción de paclitaxel de manera más eficiente. Una de las estrategias empleadas es el cultivo de células de *Taxus globosa*, y el uso de compuestos como metil jasmonato para incrementar la producción de taxanos mediante la sobre-expresión de genes involucrados en la ruta de biosíntesis de paclitaxel en forma controlada y a gran escala. Este enfoque, ha mostrado resultados prometedores de acuerdo con lo obtenido por Osuna, L., et al. (2015) [6].

La colaboración entre la medicina tradicional y la ciencia moderna es fundamental para aprovechar el potencial de *Taxus globosa* en la búsqueda de tratamientos más efectivos y menos invasivos para el cáncer. La biotecnología ha demostrado ser una herramienta invaluable para aumentar la producción de paclitaxel y hacerlo más accesible para quienes lo necesitan; sin embargo, es vital seguir investigando y desarrollando nuevas estrategias para garantizar la sostenibilidad de esta especie y su aprovechamiento responsable en la industria farmacéutica. Además, es importante el desarrollo de regulaciones que eviten una intoxicación por el consumo inadecuado de la planta mediante la medicina tradicional. La planta *Taxus globosa*

es un tesoro de la naturaleza que puede ofrecer esperanza y alivio a millones de personas afectadas por el cáncer en todo el mundo.

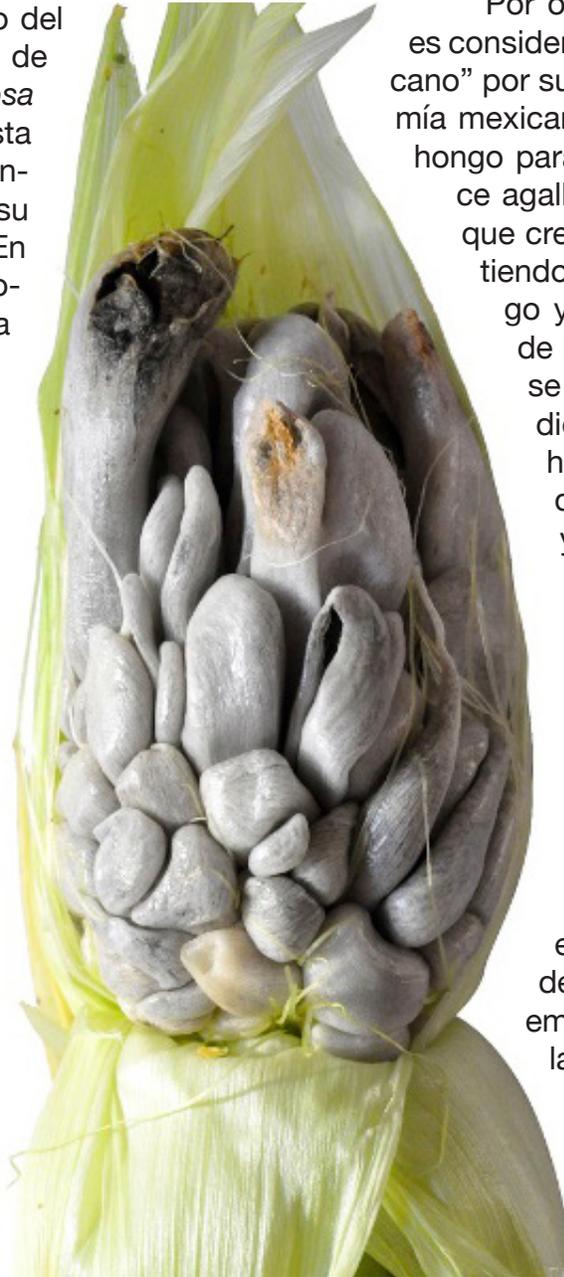


Figura 2. *Ustilago maydis*

Por otro lado, *Ustilago maydis*, es considerado como el “caviar mexicano” por su gran uso en la gastronomía mexicana. *Ustilago maydis* es un hongo parásito del maíz que produce agallas de diferentes tamaños que crecen en la mazorca permitiendo una mezcla entre el hongo y la mazorca [7]. Proviene de la familia Ustilaginaceae y se clasifica en los tipos basidiomiceto y dimórfico. Este hongo se encuentra en todas las regiones del mundo y es más probable encontrarlo en los sembradíos del maíz en época de lluvia. Se caracteriza por provocar una coloración oscura a los anexos.

Para el resto del mundo, la propagación de *Ustilago maydis* en los sembradíos de maíz es el causante de la pérdida de millones de dólares. Sin embargo, en México desde las culturas prehispánicas, esta “enfermedad del maíz” denominada comúnmente como huitlacoche es considerada como una oportunidad de alimento, e inclusive vendiéndose a un precio más elevado los granos con *Ustilago maydis*, que los granos sanos de maíz. Por otro lado, distintas culturas han reconocido al huitlacoche por sus efectos medicinales; por ejemplo, en Puebla y Veracruz se utiliza como inductor al parto produciendo tos y provocando contracciones en el útero [8]. En otras regiones, inclusive se ha utilizado como mascarilla, ya que contiene propiedades exfo-

liantes y astringentes [9]. En algunas poblaciones se utiliza como medicamento tópico para heridas y quemaduras, y en otros lugares se emplea como tratamiento digestivo.

Tal fue el impacto del huitlacoche, que en 1981 los científicos Kealey y Kosiwoski originarios de Estados Unidos de América, vieron la posibilidad de utilizarlo como modelo experimental, de esta forma se podrían analizar estudios de patogenicidad, procesos de división celular y replicación de ADN. En cuanto a la división celular, se observó que mazorcas infectadas presentan una mayor producción de auxinas y citoquininas con respecto a mazorcas no infectadas, lo que provoca el crecimiento desmesurado de tejido. Por otro lado, algunos estudios han confirmado su potencial antioxidante (impiden daño celular causado por radicales libres producidos por células cancerígenas), empleando distintos métodos de extracciones (maceración, ultrasonido asistido, mezclado, agitación, mezclado magnético) y solventes (como etanol) para la obtención de los antioxidantes, mediante sistemas de medición de antioxidantes como ABTS, DPPH, FRAP, y ORAC.

Otros compuestos bioactivos reportados en el huitlacoche incluyen ustilagol, ustilagomaydisina y ustalípidos. Los ustigalos A-F derivados de la cumarina han exhibido propiedades antiinflamatorias y antitrombóticas. Las ustilagomaydisinas A.S, por otro lado, son derivadas de las purinas, mostrando actividades citotóxicas contra células de leucemia humana en una dosis baja. Mientras, que los ustalípidos presentan un efecto similar a la dopamina (proporcionando placer y relajación). Por lo tanto, actualmente, el huitlacoche ha incursionado en la industria farmacéutica para la obtención de estos compuestos por sus propiedades.

Por todo lo anterior, *Taxus globosa* y *Ustilago maydis* representan una fuente potencial de compuestos bioactivos con aplicaciones en la biotecnología y la farmacología. Que permite obtener múltiples beneficios para el área de oncología a bajos costos, y promoviendo una mejora en la calidad de vida de personas diagnos-

ticadas con diversos tipos de cáncer. Además, faltan más estudios que nos permitan conocer que otros compuestos poseen *Taxus globosa* y *Ustilago maydis*, y también es importante analizar otras plantas consideradas medicinales por nuestros ancestros, para su futura aplicación en el área de la salud para tratar de forma eficaz diversos padecimientos que afectan gravemente la calidad de vida de las personas. También es importante destacar, el desarrollo de nuevas medidas regulatorias para hacer un uso consiente de nuestro patrimonio vegetal y evitar intoxicaciones por mal manejo de las plantas medicinales, ya que se desconocen las dosis adecuadas y los diferentes compuestos que integran las plantas. **iBIO**

Agradecimientos

A la Dra. Elda A. Flores-Contreras, a la Dra. Elda M. Melchor Martínez y al Dr. Roberto Parra Saldívar, quienes han estado involucrados en el asesoramiento de este proyecto.

Referencias

- [1] CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2020) *México megadiverso*. Consultado el 10 de julio de 2023 de <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees>
- [2] Navarrete N. (2022) *Herbolaria mexicana: su importancia y el uso de las plantas*, Universidad del Medio Ambiente. Consultado el 10 de julio de 2023 de <https://umamexico.com/herbolaria-mexicana-su-importancia-y-el-uso-de-las-plantas/>
- [3] SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021) *Plantas medicinales de México*. Consultado el 10 de julio de 2023 de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/plantas-medicinales-de-mexico>
- [4] Barrales-Cureño, H. J., & Soto-Hernández, R. M. (2012). Taxoides: metabolitos secundarios del árbol del tejo (*Taxus* spp.). *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(2), 207-218.
- [5] Alqahtani, FY, Aleanizy, FS, El Tahir, E., Alkahtani, HM y AlQuadeib, BT (2019). Paclitaxel. *Perfiles de sustancias farmacológicas, excipientes y metodología relacionada*, 44 , 205-238. <https://doi.org/10.1016/bs.podrm.2018.11.001>
- [6] Osuna, L., Tapia, N., Cusidó, R. et al. Producción

de taxanos inducida por jasmonato de metilo en cultivos celulares libres e inmovilizados de tejo mexicano (*Taxus globosa* Schldt). *Planta Physiol Acta* 37, 199 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1947-z>

[7] Méndez, R. M., Sotoh, F. R., & Contreras, E. J. C. (2008). Conocimiento tradicional de *Ustilago maydis* en cuatro grupos mayenses del sureste de México. *Etnobiología*, 6(1), 9-23.

[8] Romero, E. G. A. (2016). Donde hay maíz hay huitlacoche, el oro negro del México prehispánico. *Ixmati*, (2), 15-21.

[9] Juárez Montiel, M., Ruiloba de León, S., Chávez Camarillo, G., Hernández Rodríguez C., & Villa Tanaca, L. (2011). *Revista Iberoamericana de Micología*. Obtenido de Huitlacoche causado por el hongo *Ustilago maydis* como un elemento funcional

[10] López-Martínez, L.X.; Aguirre-Delgado, A.; Saenz-Hidalgo, H.K.; Buenrostro-Figueroa, J.J.; García, H.S.; Baeza-Jiménez, R. Bioactive ingredients of huitlacoche (*Ustilago maydis*), a potential food raw material. *Food Chem. Mol. Sci.* 2022, 4, 100076. <http://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100076>

[11] González-Cervantes, M.E.; Hernández-Urbe, J.P.; Gómez-Aldapa, C.A.; Navarro-Cortez, R.O.; Palma-Rodríguez, H.M.; Vargas-Torres, A. Physicochemical, functional, and quality properties of fettuccine pasta added with huitlacoche mushroom (*Ustilago maydis*). *J. Food Process. Preserv.* 2021, 45, e15825. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15825>

[12] Aydoğdu, M.; Gölükçü, M. Nutritional value of huitlacoche, maize mushroom caused by *Ustilago maydis*. *Food Sci. Technol.* 2017, 37, 531–535. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.19416>

[13] Valdez-Morales, M.; Céspedes-Carlos, L.; Valverde, M.E.; Ramírez-Chávez, E.; Paredes-López, O. Phenolic compounds, antioxidant activity and lipid profile of huitlacoche mushroom (*Ustilago maydis*) produced in several maize genotypes at different stages of development. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2016, 71, 436–443. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0572-3>

[14] Salazar-López, J.M.; Martínez-Saldaña, M.C.; Reynoso-Camacho, R.; Chávez-Morales, R.M.; Sandoval-Cardozo, M.L.; Guevara-Lara, F. Antioxidant capacity and phytochemical characterization of ethanolic extracts from raw and cooked huitlacoche (*Ustilago maydis*-*Zea mays*). *Rev. Mex. Cienc. Farm.* 2017, 48, 37–47.

[15] Rosalba Beas, F.; Guadalupe Loarca, P.; Salvador Horacio Guzmán, M.; Rodríguez, M.G.; Nora Lilia Vasco, M.; Fidel Guevara, L. Nutraceutical potential of

bioactive components present in huitlacoche from the central zone of Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Farm.* 2011, 42, 36–44.

[16] Villagrán, Z., Martínez-Reyes, M., Gómez-Rodríguez, H., Ríos-García, U., Montalvo-González, E., Ortiz-Basurto, R. I., ... & Pérez-Moreno, J. (2023). Huitlacoche (*Ustilago maydis*), an Iconic Mexican Fungal Resource: Biocultural Importance, Nutritional Content, Bioactive Compounds, and Potential Biotechnological Applications. *Molecules*, 28(11), 4415.

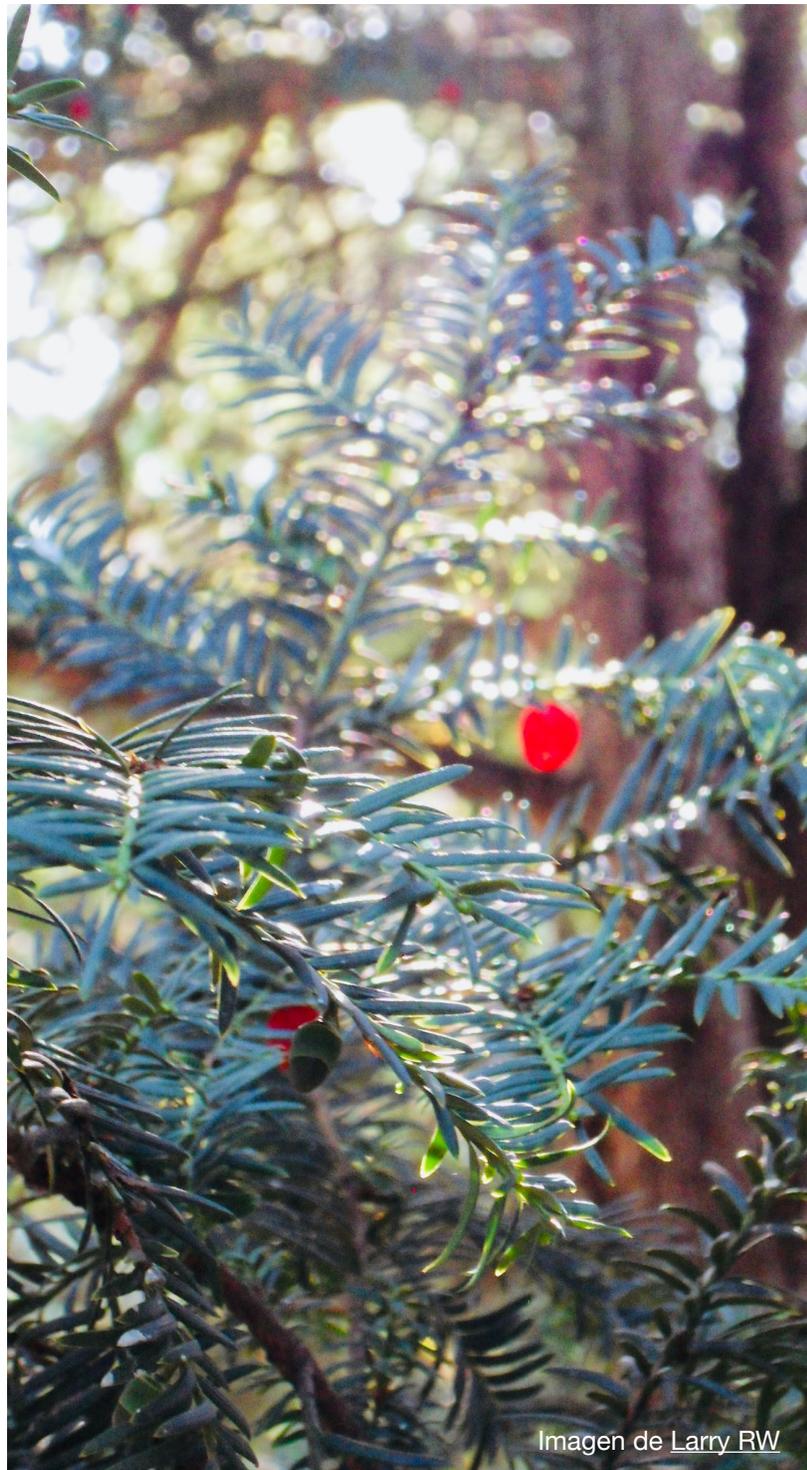


Imagen de Larry RW

Concientifica



Efecto de la cetosis en la aterosclerosis

Lidia Arely Reyes Castañeda
María Isabel Neria González*

División de Ingeniería Química y Bioquímica, TecNM:
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec,
México.

*Autor para la correspondencia:
mineriag@tese.edu.mx

Resumen

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) afectan la función cardíaca, y están relacionadas con el sobrepeso provocado por malas prácticas alimenticias. Por lo que, las ECV son de las principales causas de muerte a nivel mundial. La pérdida de peso puede reducir significativamente dichas enfermedades por promover la disminución de los niveles de triglicéridos en sangre. La dieta cetogénica ha atraído la atención de algunos sectores de la sociedad y de la comunidad científica al prometer inducir la pérdida de peso y mejorar los niveles de triglicéridos y otros marcadores en sangre. Actualmente, está siendo investigada por sus efectos en las ECV.

Palabras clave: Cuerpos cetónicos, cetogénesis, aterosclerosis.

La obesidad y las dietas

La obesidad es declarada por la Organización Mundial de la Salud como la epidemia del siglo XXI, evidenciando un incremento simultáneo del síndrome metabólico como un fenómeno global, incluyendo la salud pública en México. Este escenario destaca la seriedad de la obesidad en el país, subrayando la necesidad de establecer programas y proyectos de salud pública que promueva una medicina preventiva efectiva [1].

¿Qué implica la dieta cetogénica?

La dieta cetogénica, también conocida como KD (Ketogenic Diet, por sus siglas en inglés), consiste en llevar una alimentación baja en la ingesta de carbohidratos y rica en grasas saludables. Inicialmente, la dieta fue diseñada

para tratar la epilepsia, sin embargo, con el paso del tiempo y en este nuevo siglo ha tomado gran auge en el control de peso y como mecanismo preventivo del daño endotelial (lesiones o alteraciones en el endotelio, que es la capa de células que recubre la parte interna de los vasos sanguíneos, incluyendo arterias y venas). Su objetivo es cambiar la fuente de energía principal del organismo, privilegiando las grasas sobre los carbohidratos (figura 1). Esto se logra al restringir significativamente la ingesta de carbohidratos mientras se incrementa el consumo de grasas saludables. La limitación de carbohidratos induce la cetosis, un estado metabólico donde el cuerpo utiliza las grasas en lugar de carbohidratos para obtener energía.

Su impacto varía según diversos factores, ya que, al inducir la pérdida de peso se contribuye a la reducción de factores de riesgo como la presión arterial alta, los niveles de colesterol y los triglicéridos. Tal régimen alimentario es un tema de estudio por los científicos, dada su posible relación con la salud cardiovascular.

La dieta cetogénica a menudo conduce a una rápida pérdida de peso inicial debido a la restricción de carbohidratos (figura 2). La falta de carbohidratos reduce los niveles de glucosa en sangre y estimula la quema de grasa almacenada para obtener energía, lo que puede ayudar a reducir la obesidad.

El principio bioquímico fundamental de esta dieta radica en la generación de cuerpos cetónicos a través de la oxidación parcial de los

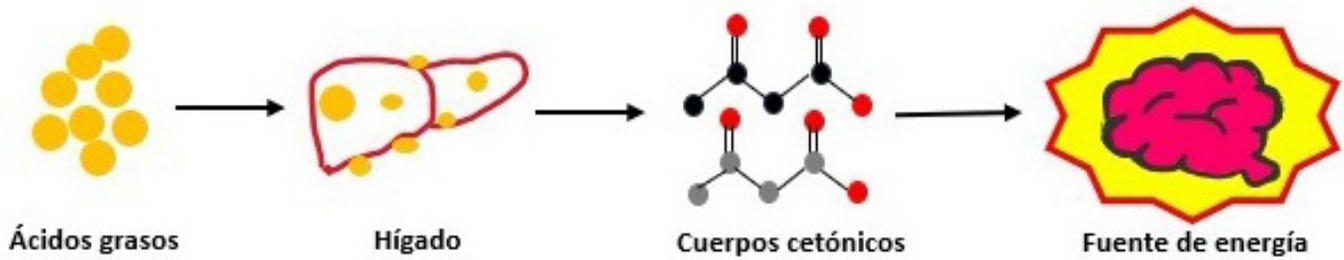


Figura 1. Obtención de energía a través de ácidos grasos metabolizados en el hígado para la obtención de energía a través de cuerpos cetónicos. Elaboración propia.

lípidos, induciendo al organismo entrar en un estado de cetosis (estado metabólico en el cual el cuerpo quema predominantemente grasas como fuente principal de energía, en lugar de depender de los carbohidratos). Este proceso metabólico simula el estado de ayuno al reducir la glucosa sérica, así como la relación entre la insulina y el glucagón, hormonas secretadas por el páncreas. Esta disminución aunada a los efectos de otras hormonas, como la adrenalina, estimulan la lipólisis en los adipocitos y los ácidos grasos liberados en la sangre experimentan la oxidación en el hígado, músculo cardíaco y esquelético, induciendo la reducción de grasa y en consecuencia la disminución de peso corporal.

Sin embargo, si se opta por adoptar la KD, es crucial se realice bajo supervisión y control médico, ya que puede tener posibles efectos secundarios similares a los síntomas de la gripe, como fatiga, mareos, náuseas, irritabilidad y dolores musculares. Esto se conoce como “gripe cetogénica” y generalmente desaparece después de unos días a medida que el cuerpo se adapta al cambio en el suministro de energía; por lo tanto, la KD no es apropiada para todas las personas.

¿Qué es la cetogénesis?

La cetogénesis es un proceso metabólico que se lleva a cabo en los hepatocitos, células del hígado, donde se degradan los lípidos a cuerpos cetónicos, en términos bioquímicos se co-

noce como catabolismo de los ácidos grasos. Este proceso metabólico se realiza para mantener la demanda energética celular en situaciones de ayuno prolongado o baja ingesta de carbohidratos.

En situaciones normales, nuestro organismo obtiene energía de los carbohidratos, principalmente del catabolismo de la glucosa. No obstante, al disminuir de manera significativa la ingesta de carbohidratos, como ocurre con la dieta cetogénica, la célula se ve forzada a buscar fuentes alternativas de energía como son los lípidos o grasas. En consecuencia, el hígado inicia la lipólisis descomponiendo los lípidos almacenados en ácidos grasos y glicerol, entonces, los ácidos grasos son catabolizados a cuerpos cetónicos o cetonas, que actúan como fuente de energía alternativa. Las cetonas pueden ser empleadas por el cerebro, los múscu-

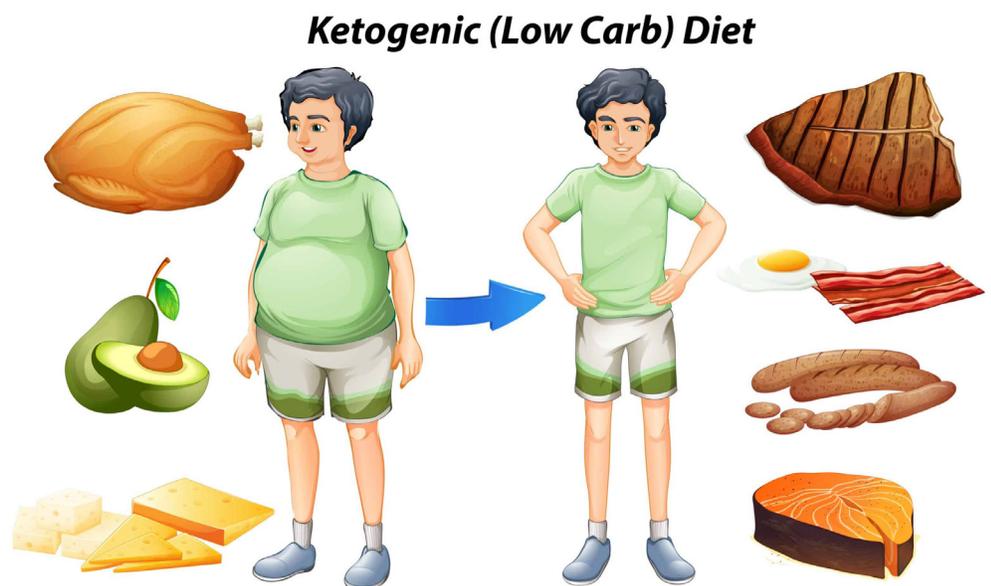


Figura 2. Una dieta cetogénica promueve la pérdida de peso con la ingesta alta en grasas, proteínas moderadas y eliminando los carbohidratos [2].

los y otros tejidos corporales. A nivel bioquímico, se puede resumir en las siguientes etapas:

1. **Movilización de ácidos grasos:** Se promueve la liberación de reservas de grasa en el tejido adiposo mediante la lipólisis, el cual es un proceso donde enzimas específicas descomponen los triglicéridos en ácidos grasos y glicerol. Este fenómeno es crucial para la obtención de energía a través de la utilización de ácidos grasos como fuente principal durante periodos de demanda metabólica elevada.
2. **β -oxidación:** Los ácidos grasos liberados en la etapa anterior son transportados al hígado y experimentan el proceso de beta-oxidación, donde se descomponen en unidades más pequeñas para transformarse en moléculas de acetil-CoA. Este procedimiento comparte similitudes con la oxidación de ácidos grasos para la obtención de energía, evidenciando la importancia de la β -oxidación en la producción de compuestos esenciales para el metabolismo energético.
3. **Formación de cuerpos cetónicos (figura 3):** Los acetil-CoA generados en la beta-oxidación son empleados en la síntesis de cuer-

pos cetónicos, como acetona, acetoacetato y β -hidroxibutirato. Estos compuestos se liberan en el torrente sanguíneo y sirven como fuente de energía para diversos tejidos, incluyendo el cerebro, en situaciones de baja concentración de glucosa.

Aunque la cetogénesis ofrece numerosos beneficios, no es para todos. Requiere una restricción significativa de carbohidratos, lo que puede ser difícil de mantener a largo plazo. También es importante señalar que la cetogénesis puede provocar efectos secundarios temporales, como la "gripe cetogénica", que a menudo se caracteriza por fatiga, irritabilidad y otros síntomas mientras el organismo se adapta a la quema de grasa en lugar de carbohidratos.

Aterosclerosis y KD

La aterosclerosis es una enfermedad que se caracteriza por la formación de una placa aterosclerótica, deformando el interior de las arterias provocando una inflamación sistémica, crónica y progresiva por la acumulación de lípidos y células inflamatorias. La aterosclerosis inicia por el daño de las células que recubren el interior de las arterias y vasos sanguíneos, co-

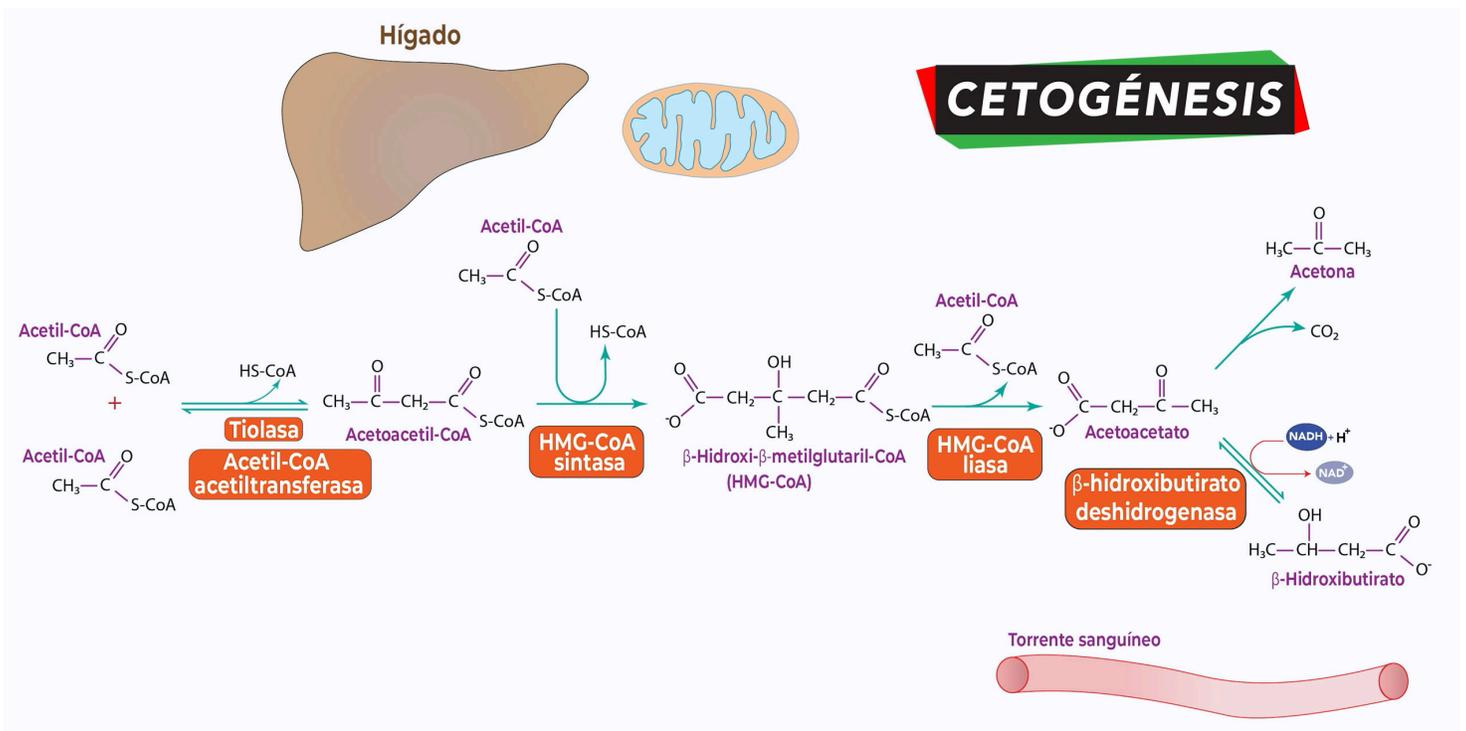


Figura 3. Reacciones de la cetogénesis, dando como resultado la generación de cuerpos cetónicos [3].

nocido como disfunción endotelial, y se magnifica por el estrés oxidativo, el depósito de lípidos y el reclutamiento de monocitos [4]. Esta interacción se produce entre diversas células, factores quimiotácticos, moléculas de adhesión y lipoproteínas de baja densidad en el subendotelio (capa inferior al endotelio) formándose la placa aterosclerótica. Aunque, cabe destacar que factores de riesgo como la hipertensión arterial, el tabaquismo, la diabetes, la obesidad y la genética, también pueden incrementar la probabilidad de desarrollar aterosclerosis.

Por otra parte, la acumulación de placa aterosclerótica en las arterias estrecha el lumen (diámetro de la célula), alterando el flujo sanguíneo, la concentración de oxígeno y nutrientes hacia los tejidos. Además, las placas pueden volverse inestables y causar la formación de coágulos sanguíneos que bloquean el flujo sanguíneo, lo que puede llevar a eventos graves como ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares [5].

La placa aterosclerótica puede variar en estructura y composición, lo que influye en su estabilidad y en el riesgo que representa. Su caracterización es importante para poder determinar el tratamiento y evaluar el riesgo cardiovascular de una persona. Por lo tanto, algunos estudios sugieren que la KD puede tener un impacto positivo en factores de riesgo cardiovascular, ya que se ha observado que la dieta puede reducir los niveles de triglicéridos, aumentando el colesterol HDL (colesterol “bueno”) y beneficiando al corazón ya que al bajar de peso el colesterol LDL (colesterol “malo”) ya no puede infiltrarse en la capa interna de la arteria. Al retirar los carbohidratos de la ingesta controlamos los niveles de glucosa en sangre, evitando daños en el endotelio vascular, un factor importante en el desarrollo de la aterosclerosis [5].

Tratamiento

El tratamiento de la aterosclerosis generalmente implica enfoques médicos y cambios en el estilo de vida. La dieta desempeña un papel importante en la aterosclerosis y puede ser beneficiosa para reducir el riesgo de complica-

ciones cardiovasculares. Aunque la KD no es la elección más común para el tratamiento de la aterosclerosis, existen algunas consideraciones que vale la pena revisar:

- Limitación de grasas saturadas y grasas trans: independientemente de la dieta elegida, es importante limitar la ingesta de grasas saturadas trans para evitar la acumulación de placa aterosclerótica por la aparición de colesterol LDL (colesterol “malo”).
- Aumento de grasas saludables: al seguir una dieta cetogénica, es fundamental centrarse en fuentes de grasas saludables, como aceite de oliva, aguacates, nueces y pescados grasos ricos en ácidos grasos omega-3. Estas grasas pueden ayudar a reducir la inflamación y mejorar la salud cardiovascular.
- Control de ingesta de carbohidratos: la KD limita significativamente la ingesta de carbohidratos, lo que puede ayudar a controlar los niveles de glucosa en sangre ya que los altos niveles de glucosa en sangre pueden dañar el endotelio vascular y contribuir a la aterosclerosis.
- Fibra y antioxidantes: incluir alimentos ricos en fibra y antioxidantes en tu dieta, como frutas, verduras, legumbres y granos enteros. Estos alimentos pueden ayudar a reducir el colesterol LDL y mejorar la salud de las arterias.
- Control de peso: la pérdida de peso es un componente importante del tratamiento de la aterosclerosis. La KD a menudo conduce a la pérdida de peso, lo que puede ser beneficioso en este sentido.
- Ejercicio: Aunque la dieta cetogénica puede proporcionar beneficios para la pérdida de peso y la salud metabólica, es esencial combinarla con un programa de ejercicios adecuados, tomando en cuenta los 30 minutos de ejercicio diarios recomendados como hábito.

Es importante destacar que la elección de seguir una dieta cetogénica debe ser supervisada por un profesional de la salud, especialmente cuando se padece aterosclerosis u otras afecciones médicas. Además, se recomienda

un enfoque equilibrado y sostenible para la dieta, que pueda mantenerse a largo plazo, es decir tener una salud cardiovascular.

Las modificaciones en la dieta y el aumento de la actividad física desempeñan un papel importante en la gestión efectiva de la obesidad. Una dieta debe estar equilibrada energéticamente y proporcionar la cantidad calórica requerida para el funcionamiento vital del organismo. La prescripción de una dieta restrictiva en calorías es el primer paso para seguir un tratamiento para el sobrepeso u obesidad. Sin embargo, aun cuando se tiene esta información es importante consultar a un médico con la especialidad pertinente [6].

En el vasto panorama de las opciones dietéticas, tres enfoques se destacan por su popularidad y potenciales beneficios para la salud: la dieta cetogénica, la dieta mediterránea y la dieta habitual.

Comparaciones y contrastes

La Dieta Cetogénica: conocida por su énfasis en grasas saludables y reducción significativa de carbohidratos, lleva al cuerpo a un estado metabólico llamado cetosis. Aquí, las grasas se convierten en la principal fuente de energía, lo que puede tener beneficios para la pérdida de peso y el control de la glucosa. Sin embargo, es vital entender que esta dieta no es para todos y debe ser abordada con precaución.

La Dieta Mediterránea: Originaria de las regiones circundantes al Mar Mediterráneo, la dieta mediterránea abraza una variedad de alimentos frescos y nutrientes esenciales. Con un énfasis en grasas saludables, como el aceite de oliva, y una abundancia de frutas, verduras, pescado y legumbres, se ha asociado con la salud cardiovascular y la longevidad. Su enfoque equilibrado hace de esta dieta una opción atractiva para muchos.

La Dieta Habitual: caracterizada por alimentos procesados, azúcares añadidos y un equilibrio desigual de nutrientes, es la opción nutricional predeterminada para muchas perso-

nas. Aunque puede proporcionar comodidad, suele carecer de la variedad y calidad nutricional presentes en las otras dietas discutidas. Reflexionar sobre nuestros hábitos alimenticios diarios es esencial para evaluar su impacto en nuestra salud a largo plazo.

La dieta cetogénica, la mediterránea y la habitual difieren en sus enfoques fundamentales. Mientras que la cetogénica se centra en la cetosis, la mediterránea abraza una amplia gama de alimentos frescos, y la habitual puede carecer de la calidad nutricional necesaria. La elección entre ellas depende de los objetivos individuales, preferencias y necesidades de salud.

Explorar las opciones nutricionales no solo es un viaje a través de diferentes dietas, sino también hacia una comprensión más profunda de cómo nuestros hábitos afectan nuestra salud. Ya sea eligiendo la cetosis, siguiendo el camino mediterráneo o reflexionando sobre la dieta habitual, la clave radica en tomar decisiones informadas y sostenibles para cultivar un estilo de vida saludable a largo plazo. **iBIO**

Referencias

- [1] Dávila-Torres J, G.-I. J., Barrera-Cruz A. (2015). Panorama de la obesidad en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* 53(2):121-256.
- [2] Masood W, Annamaraju P, Uppaluri KR. Ketogenic Diet. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020. [PubMed] <https://www.nutriterapiaevolutiva.com/estudio-dieta-cetogénica/>.
- [3] Cuerpos cetonicos, cetogenesis y cetolisis (2023). <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=XDXTwD1jls>
- [4] Bryce-Moncloa, A., et al. (2017). Obesidad y riesgo de enfermedad cardiovascular. *Anales de la Facultad de Medicina*, UNMSM. Facultad de Medicina.
- [5] Pavía-López, A. A., et al. (2022). Guía de práctica clínica mexicana para el diagnóstico y tratamiento de las dislipidemias y enfermedad cardiovascular aterosclerótica. *Arch Cardiol Mex* 92 (Supl): 1-62.
- [6] Concha A. E. (2000). Tipos de dietas restrictivas para el tratamiento de la obesidad. *Medicina Naturista* 2:96-102. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/202444.pdf>

Concientifica



Todas las piezas en su lugar: aplicación de la ciencia y tecnología en salud

Resumen

El “todas las piezas en su lugar” hace referencia a un rompecabezas, donde, las piezas con las que se cuenta pueden formar un todo que embone y funcione correctamente. De acuerdo con la analogía antes descrita, las piezas que se consideran abordar en este artículo, como partes fundamentales para la aplicación de la ciencia y la tecnología para el desarrollo de bioterapéuticos, en México, son: la industria, la academia, y su relación con el gobierno y la regulación sanitaria, tomando como ejemplo la empresa transnacional de origen hindú, ImmunoACT, que es pionera en terapias génicas y celulares para el cáncer.

Palabras clave: Ciencia, tecnología, bioterapéuticos.

En México, la aplicación de la ciencia y la tecnología para generar bienes que permitan a la sociedad alcanzar mejores alternativas para el tratamiento de los principales padecimientos que la aquejan, es un punto de reflexión muy importante.

El beneficio de aplicar y materializar la ciencia y la tecnología puede reflejarse en precio y diversidad de productos, un ejemplo de esta diversidad se ve ejemplificada a través de la reciente introducción al país de una terapia celular alternativa para el tratamiento del cáncer, las células T con receptores quiméricos de antígeno (CAR-T, por sus siglas en inglés *chimeric antigen receptor modified T cells*).

Marycarmen Godínez-Victoria^{1*}
Alma Mireya Ordoñez-Rodríguez²
Ereth Ameyatzin Robles-Chávez³

¹Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

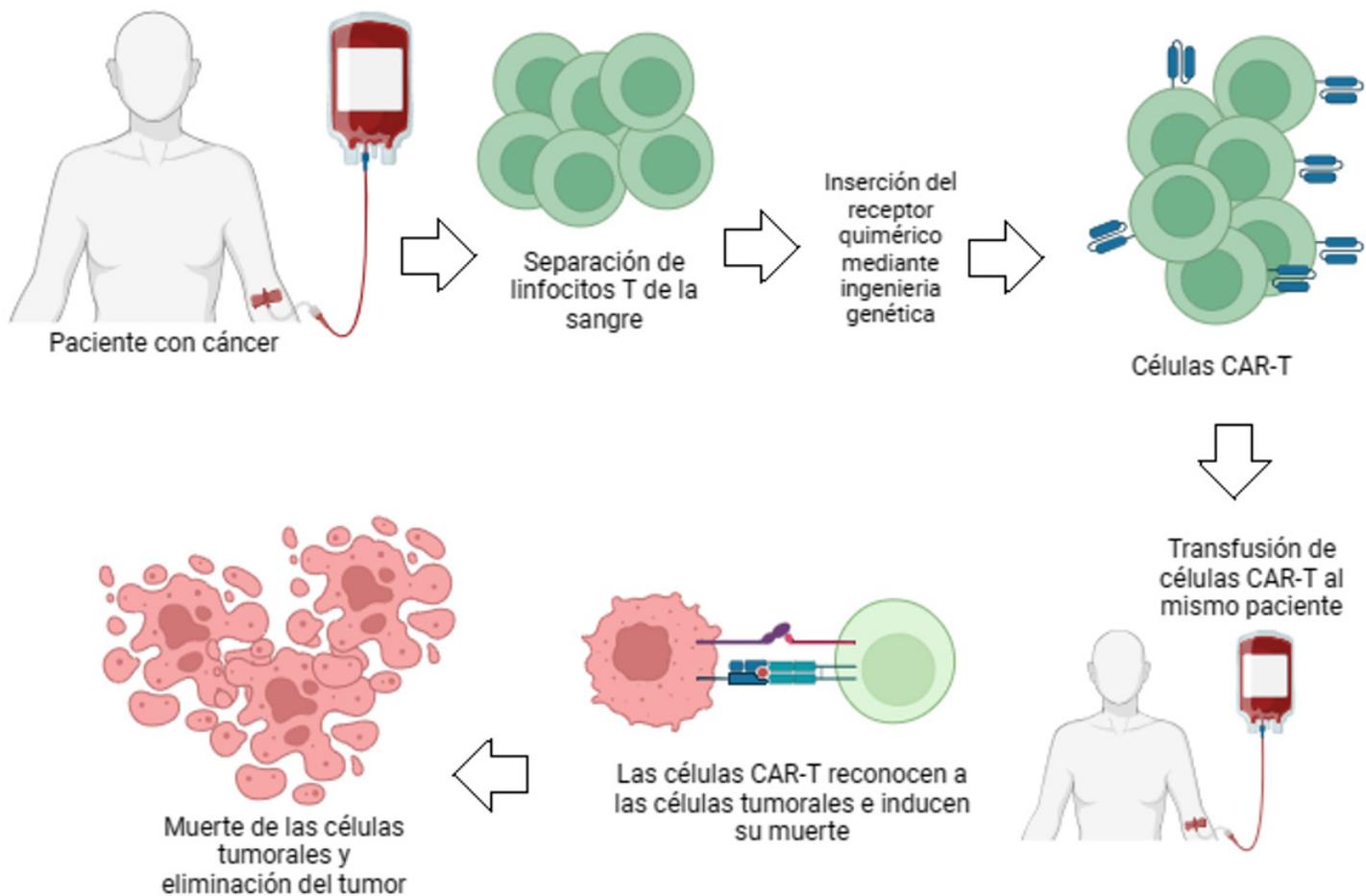
²Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

³Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

*Autor para la correspondencia:
mgodinezv@ipn.mx

La terapia celular se refiere al uso de células o tejidos de otra persona o propias, las cuales pueden ser modificadas genéticamente para reparar células o tejido dañados. En particular, las células CAR-T son linfocitos T presentes en la sangre, los cuales son modificados genéticamente para insertar un receptor que reconoce un antígeno presente en las células del tumor que afecta al propio paciente; estas células genéticamente modificadas son transfundidas al mismo paciente para inducir una respuesta inmune dirigida contra el tumor, permitiendo su eliminación (Figura 1).

Las células CAR-T se han empleado en diferentes tipos de tumores como mieloma múltiple, leucemia linfoblástica aguda, linfoma difuso de células B gigantes, linfoma de células B en sistema nervioso central y tumores sólidos, entre otros. Si bien esta terapia se consideró inicialmente para el tratamiento del cáncer [1-3], actualmente se han empleado en inmuno-



Created in BioRender.com

Figura 1. Proceso para la creación de células CAR-T y su aplicación en pacientes con cáncer.

deficiencias primarias [4] o en enfermedades autoinmunes, con resultados aún en fase de experimentación, pero muy prometedores en un futuro cercano.

El “todas las piezas en su lugar” hace referencia a un rompecabezas, donde, las piezas con las que se cuenta pueden formar un todo que embone y funcione correctamente. De acuerdo esta analogía, las piezas que se consideran abordar en este artículo como partes fundamentales para la aplicación de la ciencia y la tecnología para el desarrollo de nuevos bioterapéuticos en México, son: la industria, la academia, así como la vinculación entre ellas y su relación con el gobierno y la regulación sanitaria.

Con relación a la industria, en el 2018 se reportaron 837 empresas denominadas empre-

sas farmacéuticas, las cuales cuentan con la infraestructura y los procedimientos para generar productos con altos estándares de calidad y que cumplen con las buenas prácticas de manufactura, pero desafortunadamente, en ellas solo se maquilan productos desarrollados fuera del país. Además, la contribución financiera de la industria farmacéutica para el desarrollo de nuevos tratamientos representa como máximo, el 19% del total de la inversión para la investigación científica y desarrollo experimental, siendo el gobierno quien aporta el resto de la inversión. A diferencia de otros países, donde la principal inversión proviene de la industria farmacéutica.

Sobre la academia, se puede mencionar que, según la Secretaría de Economía, en el 2023, hay registrados 1.04 millones de investigadores y especialistas en ciencias exactas,

biológicas, ingeniería, informática y en telecomunicaciones; que día a día contribuyen de manera significativa, en la generación de conocimiento científico y de desarrollo tecnológico. Es decir, el país cuenta con personal altamente calificado para proponer soluciones a los problemas de salud del país.

Con respecto al Gobierno Federal, la inversión económica realizada a través del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) fue de \$31,655 millones de pesos en el 2023; lo que representó \$476,241 pesos más que en el año 2022. Sin embargo, de este presupuesto el CONAHCyT lo distribuye en diferentes áreas que considera prioritarias: Medicina y Ciencias de la Salud, Ciencias en Salud Pública, Prótesis Bucal y Docencia de Idiomas, entre otros; generando que el presupuesto destinado al desarrollo de nuevos fármacos y bioterapéuticos sea insuficiente para suplir las necesidades que tenemos como país.

Expuesto lo anterior surge una pregunta, si se cuenta con la infraestructura y con los recursos humanos para generar nuevas soluciones a los problemas de salud que aquejan a la población mexicana, ¿qué es lo que falta para que los conocimientos científicos, el desarrollo tecnológico y la industria embonen correctamente para generar nuevos fármacos y bioterapéuticos que den solución a estos problemas de salud?

La vinculación tiene como objetivo que los recursos humanos altamente capacitados y los avances a nivel de ciencia básica y/o traslacional, obtenidos en la academia, sean trasladados a la industria para contribuir en el desarrollo y creación de nuevas alternativas, tomando como base que en la industria se tiene la infraestructura necesaria para escalar los procesos, así como de formular productos, bajo su *expertise* en el marco regulatorio en materia de salud, para cumplir con la normatividad nacional e internacional. Además, fortalecer la vinculación con el Sector Salud, favorecería el desarrollo de los ensayos clínicos necesarios para concretar la creación de nuevos productos, como los bioterapéuticos.

De manera particular la empresa Immu-noACT ejemplifica las bondades de tender puentes entre la academia, la industria y el sector salud. Esta empresa fue creada por investigadores con vasta experiencia en Inmunología y cáncer del Instituto Indio de Tecnología de Bombay, quienes decidieron formar su propia empresa para ofrecer esta tecnología en su país, teniendo como directriz transformar las ideas en realidad, convirtiéndose en pioneros en la producción de terapias génicas y celulares, como las células CAR-T. Además, esta empresa ha sobrepasado fronteras, llevando las bondades de estas terapias a otros países.

Este desarrollo de terapia celular también llamado “terapia viva”, fue originalmente desarrollado por Novartis y ya cumplió 5 años de ser autorizado por la Food Drug Administration (FDA), en Estados Unidos, para el tratamiento de la leucemia linfoblástica aguda. Según las evidencias, esta terapia ha logrado aumentar el tiempo de sobrevida libre de recaídas de un 10% a 44% en pacientes con leucemia linfoblástica aguda, durante este lustro [5]; lo cual la convierte en una alternativa terapéutica muy prometedora en esta incansable lucha contra el cáncer. Sin embargo, es importante aclarar que en nuestro país aún estamos en proceso de vincular las piezas de este rompecabezas, es decir, la academia, la industria, el gobierno y la regulación sanitaria para que esto pueda también ser una realidad. ¿pero cuáles son los avances en nuestro país?

En México, la participación de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), es una pieza fundamental para el desarrollo de bioterapéuticos. Hay que recordar que la COFEPRIS se encarga de la regulación de la producción de cualquier producto o tratamiento médico dentro del país, pero también se encarga de regular los productos que fueron producidos en otros países y que va a ingresar al mercado nacional. En febrero del año 2023, la COFEPRIS autorizó el primer permiso de importación del vector empleado para la modificación genética de los linfocitos T, para formar células CAR-T, las cuales serán

ción clínica y farmacovigilancia de productos biológicos; sector público dispuesto a invertir en la investigación lo cual podría reflejarse en un aumento del presupuesto destinado a ciencia y tecnología; un sector privado con instalaciones y protocolos para vincularse con los centros de investigación; dependencias regulatorias, como la COFEPRIS, dispuestas a acompañar y verificar cada paso para garantizar una transferencia de tecnología y puesta en marcha en el menor tiempo y gasto posible. **iBIO**

Referencias

- [1] Ishida, T., Nakakoji, M., Murata, T., Matsuyama, F., & Iida, S. (2023). Evaluating process utilities for the treatment burden of chemotherapy in multiple myeloma in Japan: A time trade-off valuation study. *Journal of Medical Economics*, 26(1), 565–573. <https://doi.org/10.1080/13696998.2023.2197811>
- [2] Worel, N., Grabmeier-Pfistershammer, K., Kratzer, B., Schlager, M., Tanzmann, A., Rottal, A., Körmöczy, U., Porpaczy, E., Staber, P. B., Skrabs, C., Herkner, H., Gudipati, V., Huppa, J. B., Salzer, B., Lehner, M., Saxenhuber, N., Friedberg, E., Wohlfarth, P., Hopfinger, G., ... Pickl, W. F. (2023). The frequency of differentiated CD3+CD27-CD28- T cells predicts response to cart cell therapy in diffuse large B-cell lymphoma. *Frontiers in Immunology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1004703>
- [3] Xue, F., Zheng, P., Liu, R., Feng, S., Guo, Y., Shi, H., Liu, H., Deng, B., Xu, T., Ke, X., & Hu, K. (2022). The autologous hematopoietic stem cells transplantation combination-based chimeric antigen receptor T-cell therapy improves outcomes of relapsed/refractory central nervous system B-cell lymphoma. *Journal of Oncology*, 2022, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2022/2900310>
- [4] Cotangco, K., Manriquez, E. N., & Salani, R. (2022). Rapidly progressing vulvar soft tissue infection as a result of severe hypogammaglobulinemia following car T-cell therapy. *Gynecologic Oncology Reports*, 42, 101016. <https://doi.org/10.1016/j.gore.2022.101016>
- [5] Rodríguez Fernández Clara. (Octubre, 2021). *A cure for cancer? How CAR-T cell therapy is revolutionizing oncology*. Recuperado de <https://www.labiotech.eu/in-depth/car-t-therapy-cancer-review/>



Imagen de [Diana Polekhina](#)



Conscientifica

Retos que enfrenta la carne sintética para su incorporación en el mercado

Carne sintética: del laboratorio a su mesa

Resumen

A través de los años, la explotación de recursos naturales para satisfacer las necesidades básicas del ser humano aumenta exponencialmente. Si bien los alimentos impulsan nuestra vida diaria, su producción contribuye al cambio climático. A raíz de ello, han surgido diversas tendencias que buscan disminuir la huella ecológica, destacándose el consumo sostenible. Pese a su enfoque en la ética y ambientalismo, muchas personas aún encuentran difícil renunciar a la carne convencional. En este artículo, exploramos la carne sintética como una opción revolucionaria, analizando técnicas y su potencial para cubrir las demandas culinarias, así como los aspectos éticos y limitaciones.

Palabras clave: Carne de laboratorio, cultivo celular, medio de cultivo y regulación.

Las costumbres y tradiciones definen la diversidad de cada país, y dentro de estas manifestaciones, la gastronomía es lo más destacado para la población. Los alimentos se consideran indispensables, ya que son una necesidad básica de sustento. Como individuos, pertenecer a una determinada cultura define en gran medida la dieta que llevamos, pero gracias a la globalización, contamos con acceso a una enorme variedad de recetas culinarias.

*Ilse Lilian Reyes Campos¹
Minji Gallegos Muñoz¹
Elda A. Flores Contreras^{1,2*}*

¹Tecnológico de Monterrey, School of Engineering and Sciences, Monterrey 64849, Mexico.

²Institute of Advanced Materials for Sustainable Manufacturing, Monterrey 64849, Mexico.

*Autor para la correspondencia:
eldafc@tec.mx

Los alimentos de origen animal son una de las principales fuentes de energía en los humanos. En este sentido, las actividades pecuarias contribuyen en un 40-50% del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola en el mundo y serán una fuente importante de ingresos para países emergentes [1].

Es importante resaltar que el planeta posee recursos naturales limitados y la demanda de los mismos crece a pasos agigantados. Entre las industrias de alimentos más contaminantes se encuentra la ganadera, responsable de contribuir en un 12-18% anual a las emisiones de gases de efecto invernadero. Ya que para producir un bistec de 0.23 kg, se requieren 1.6 kg de alimento y aproximadamente 3,515 litros de agua. Las cuales son cifras realmente alarmantes [2].

Una alternativa para disminuir la contaminación proveniente de la producción de carne, surge con la llegada de la carne sintética al pro-

yectar una reducción significativa de 78-96% en las emisiones y al utilizar únicamente una décima parte de la tierra [2]. A partir de este parteaguas en la historia de la alimentación humana, se inician una serie de retos y oportunidades para la búsqueda de un mundo más sostenible. El presente artículo se enfoca en dar a conocer con mayor profundidad cada una de las matices involucradas en la obtención de este producto biotecnológico, con la finalidad de brindar a las personas la oportunidad de incorporar esta tecnología como un sustituto ideal dentro de su dieta diaria.

¿Qué es la carne sintética?

Es carne que se cultiva en un laboratorio en condiciones controladas, por ello también se conoce como carne *in vitro*, y su producción consiste en el uso de un medio de cultivo especializado que permite crecer y multiplicarse a las células provenientes de fibras musculares que se encuentran fuera del animal. Para poder producir 1 kg de carne se deben cultivar alrededor de 50,000 millones de células [3].

Técnicas de cultivo

El desarrollo de carne en laboratorio, se basa en el uso de células mioblastos (células

satélites) como elemento de partida para poderlos diferenciar fácilmente en miotubos (células musculares inmaduras) y miofibrillas, que crecen bajo condiciones controladas *in vitro* en botellas de cultivo. El medio de cultivo contiene factores de crecimiento y nutrientes celulares exclusivos de la fase de proliferación y la fase de diferenciación, los cuales son aptos para la línea celular obtenida a partir de una biopsia. Esto con el fin de permitir que las células se puedan replicar y prevenir la contaminación. Además, se hace uso de la ingeniería de tejidos para proveer un andamiaje que permita su buena organización y ensamblaje. Para realizar la producción a gran escala se emplean biorreactores bajo condiciones óptimas para el continuo cultivo de las células (Figura 1). Posteriormente, se recolectan tiras de músculo que son procesadas con la finalidad de añadir diversos compuestos que permitan mejorar el valor nutricional, sabor, color y textura de la carne [4]. El proceso descrito anteriormente se puede apreciar mejor en la Figura 2.

La carne producida en condiciones *in vitro* posee vasculatura y grasa intramuscular; y mediante bio-impresión 3D se pueden realizar cortes más específicos de carne (asados, bis-

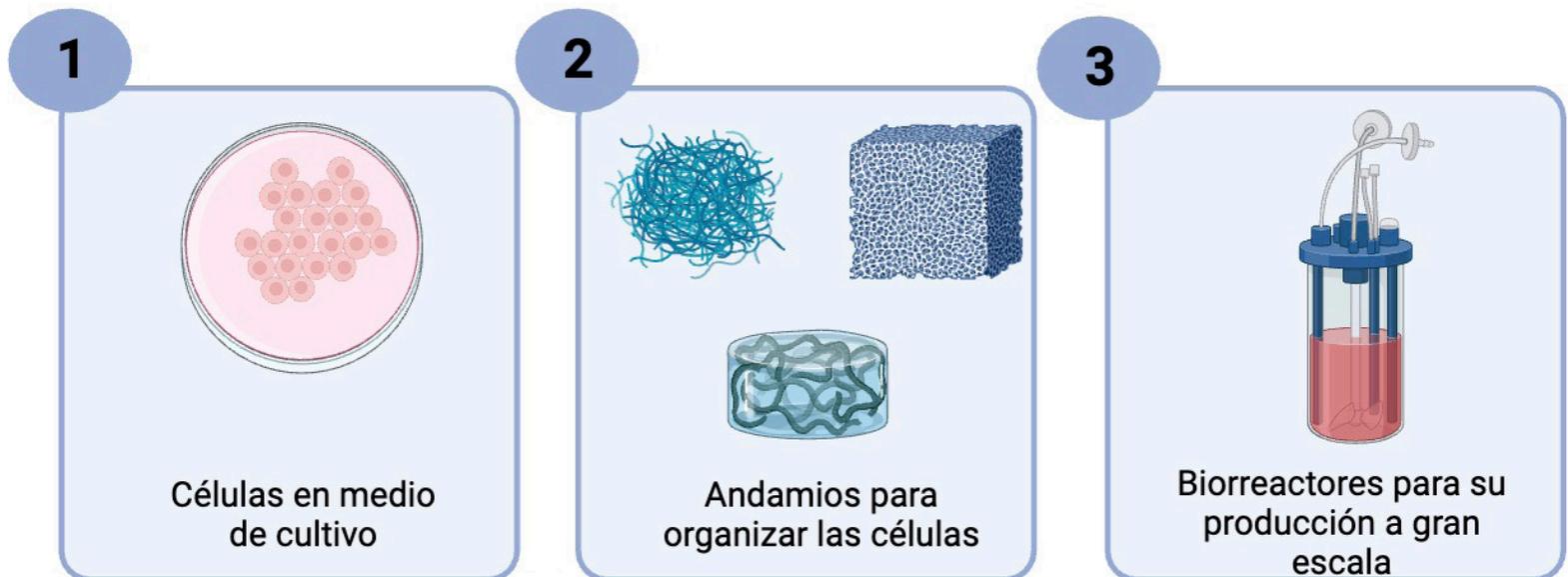


Figura 1. Esquema representativo de la etapas necesarias para le desarrollo de carne sintética. (1) Crecimiento de las células en condiciones *in vitro*. (2) Empleo de andamios para organizar y ensamblar las células. (3) Producción a gran escala mediante Biorreactores.

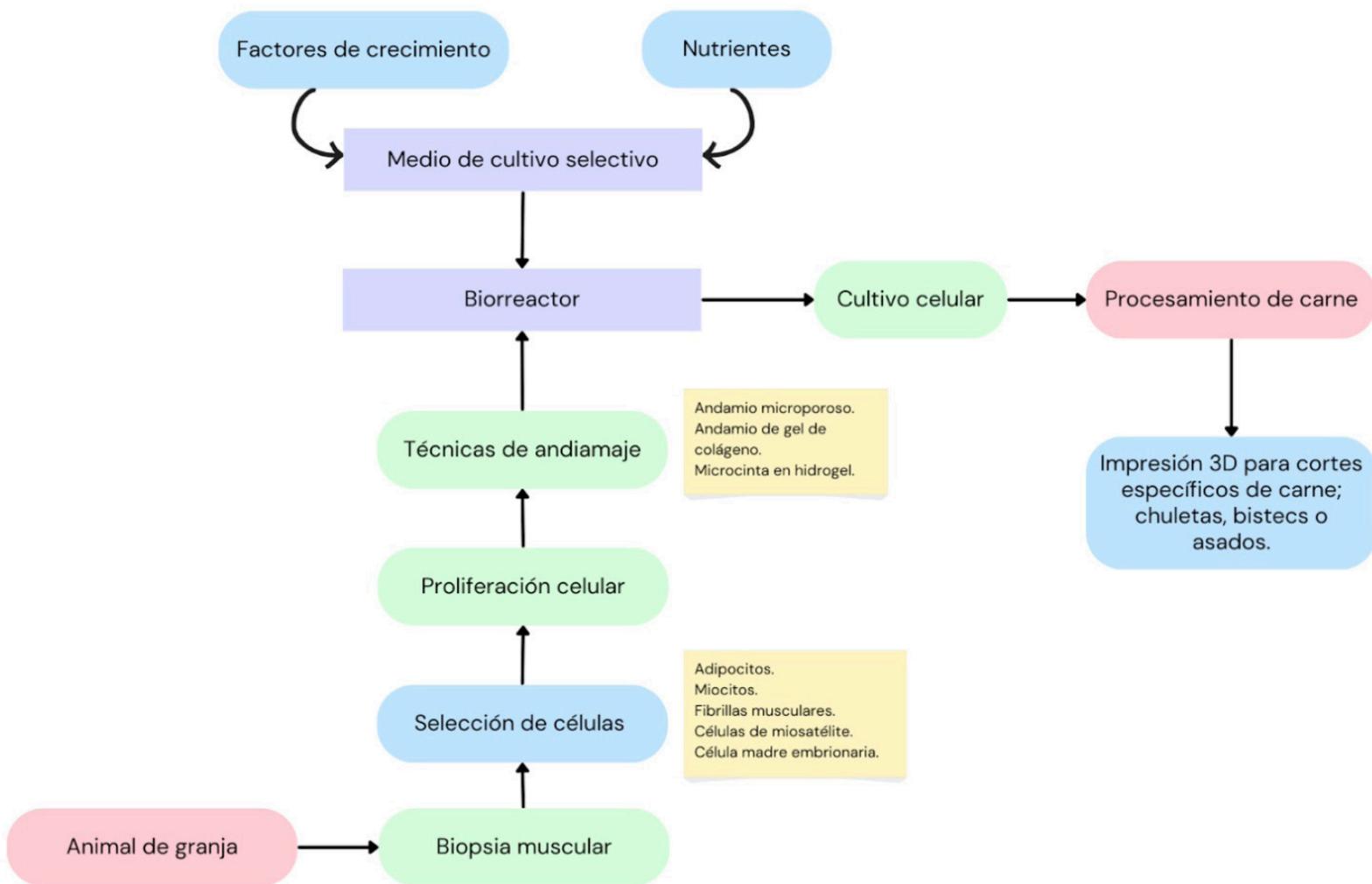


Figura 2. Diagrama que muestra paso a paso el proceso empleado para la síntesis de carne sintética

tecs o chuletas). Sin embargo, la carne sintética presenta varios problemas al momento de ser aplicada; como las propiedades reológicas de la biotinta, la poca capacidad de escalabilidad y un alto costo de producción, por lo que su uso óptimo se destina a inducir distintos tipos de músculos y hasta órganos en condiciones *ex vivo* [5].

Consideraciones éticas

En medida de lo posible, la carne sintética tiene como objetivo disminuir el maltrato animal ocasionado por la industria ganadera, lo cual la ha posicionado como una alternativa relevante para la dieta de muchas personas que protegen los derechos de los animales. Desafortunadamente, el Suero Fetal Bovino (SFB) es un reactivo usado para proveer los factores de crecimiento, obteniéndose de la sangre reco-

lectada del ganado mediante punción cardiaca o umbilical, provocando así la muerte de la madre y el feto [6].

Otro punto importante, son los costos de producción. A pesar, que el costo ha disminuido para ser más accesible, la carne sintética sigue siendo vista como un lujo por el precio de venta elevado. En este sentido, 1 kg cuesta \$80 USD, mientras que el precio de venta de la convencional es de \$5.6 USD [7].

A pesar de que la carne cultivada en laboratorio atrae a personas que buscan reducir su consumo, un estudio global en el año 2020 con 6,128 participantes mostraron inconformidad al ingerir la carne sintética, indicando que es antinatural y antiética su producción. Se espera que la aceptación sea lenta, ya que los consumidores prefieren opciones convencionales.

Esto permitirá que los granjeros de la industria cárnica no se vean afectados económicamente a corto plazo [8, 9].

Por encima de los argumentos mencionados, la biotecnología sigue en auge y las empresas procuran constantemente cubrir las necesidades más exigentes de los usuarios.

Aspectos legislativos y religiosos

Uno de los países que tiene una gran inversión de \$507 M USD en carne sintética es Israel, lo cual permite analizar cómo han abordado los aspectos legislativos y religiosos de esta novedosa industria. Aunque aún no está en el mercado, la ley exige certificaciones de *Buenas Prácticas de Manufactura (GMP)* y *Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)* para su venta, con inspecciones gubernamentales regulares para proveer al consumidor un alimento seguro que cumpla con los estándares de calidad [10].

De igual forma, para su etiquetado, el Ministerio de Salud enfatiza en que deberán de señalar al consumidor la línea celular empleada, el porcentaje de células del total de la masa del producto, terminología establecida por el organismo regulatorio y la información que se requiere en un etiquetado convencional [10].

Dentro del judaísmo e islam, la carne sintética debe cumplir con estándares Kosher y Halal; es decir evitar el sufrimiento animal. En el 2022, algunos rabinos consideraron que la carne sintética derivada de células madre embrionarias bovinas es “Kosher Parve”, es decir, que si podría ser consumida. Sin embargo, debido a las numerosas certificaciones religiosas, hay dificultad para llegar a un consenso en ambos puntos de vista [10].

Limitantes

La producción de carne sintética es un proceso costoso y requiere una inversión inicial alta para la comercialización a gran escala, convirtiéndose en la mayor limitante dentro de la lucha contra la carne convencional [5]. Esto se debe principalmente por el SBF, que puede

llegar a representar entre el 55-95% de costos de producción, dependiendo de la cantidad empleada por la compañía [11].

En el ámbito social, numerosas encuestas indican una disposición inicial a probarla, sin embargo, el éxito a largo plazo y el comportamiento de compra son inciertos. Regularmente se presentan inquietudes sobre la percepción del sabor, la textura y la seguridad, sumado a la constante angustia por la “falta de naturalidad”. Para aclarar estas preocupaciones e impulsar la aceptación generalizada, recordemos que “no todo lo que es natural, sólo por el hecho de serlo, significa que sea bueno”.

Otra de las barreras es que la producción se lleva a cabo en pequeñas cantidades dentro de laboratorios especializados, pero se necesita una transición hacia lo industrializado, lo que a su vez plantea problemas técnicos y logísticos. Dado que los medios de cultivo utilizados deben guiar la diferenciación celular hacia la formación de tejido muscular, es preciso establecer un entorno de cultivo estéril y controlado.

Por su parte, la replicación del sabor y textura de la carne convencional es un obstáculo considerable. Los perfiles específicos tan atractivos no provienen de un solo compuesto, sino de una combinación compleja de moléculas, incluidos aminoácidos, grasas, azúcares y compuestos volátiles, así como de la estructura fibrosa y las características de retención de agua de la carne animal.

La superación de estos desafíos es fundamental para lograr una producción a gran escala rentable, garantizar la aprobación del consumidor y cumplir con los estándares nutricionales y regulatorios.

Perspectivas futuras

El futuro de la carne sintética es prometedor y sugiere un crecimiento significativo en los próximos años. De acuerdo con las predicciones, la carne cultivada sustituirá a su contraparte tradicional ya que sus ventajas competitivas superarán los problemas vinculados con la

presencia de toxinas, antibióticos y hormonas [5].

A medida que avanza la tecnología y se reducen los costos de producción, se espera que la carne sintética se vuelva más accesible y común en el mercado. Se están realizando grandes inversiones en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia de producción, aumentar la escala y perfeccionar sus atributos sensoriales.

Como ya se ha visto, el impacto de la producción de carne tradicional es devastador para la madre tierra. Por fortuna, la carne sintética ofrece reducir drásticamente estas complicaciones al utilizar menos recursos naturales. Pero aún existen algunos retos por vencer como es el uso del SBF, por lo cual es necesario que a la brevedad se desarrolle un sustituto, que proporcione los nutrientes necesarios para la carne sintética.

Cuantas más empresas ingresen al mercado de la carne sintética y se establezcan regulaciones adecuadas, es altamente probable que se introduzcan una mayor variedad de productos para su disponibilidad inmediata. No solo se limitará a hamburguesas, sino que también se espera el desarrollo de filetes, pollo y mariscos.

Finalmente, el verdadero éxito sólo puede producirse una vez que nuestro objetivo como sociedad sea lograr, con el paso del tiempo, una transición hacia un sistema alimentario más equilibrado y consciente, donde la carne sintética desempeñe un papel fundamental en la alimentación mundial. **iBIO**

Agradecimientos

A la Dra. Elda A. Flores-Contreras, a la Dra. Elda M. Melchor Martínez y al Dr. Roberto Parra Saldívar, quienes han estado involucrados en el asesoramiento de este proyecto.

Referencias

[1] Balasubramanian, B., Liu, W., Pushparaj, K., & Park,

S. (2021). The epic of in vitro meat production—a fiction into reality. *Foods*, 10(6), 1395. <https://doi.org/10.3390/foods10061395>

[2] González, N., Marquès, M., Nadal, M., & Domingo, J. L. (2020). Meat consumption: Which are the current global risks? A review of recent (2010–2020) evidences. *Food Research International*, 137, 109341. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109341>

[3] Gauna, D. H. & Perez Filgueira, D. M. (2018). *Carne sintética: 10 Interrogantes en la era de la producción 4.0*. Instituto de Investigación en Prospectiva y Políticas Públicas, CICPES, INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/4515>

[4] Arshad, M. S. et al. (2017) Tissue engineering approaches to develop cultured meat from cells: A mini review. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1320814. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1320814>

[5] Tibrewal, K., Dandekar, P., & Jain, R. (2022). Extrusion-based sustainable 3D bioprinting of meat & its analogues: A review. *Bioprinting*, 29, e00256. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2022.e00256>

[6] Chriki, S., & Hocquette, J. F. (2020). The myth of cultured meat: a review. *Frontiers in nutrition*, 7, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00007>

[7] Gaydhane, M. K., Mahanta, U., Sharma, C. S., Khandelwal, M., & Ramakrishna, S. (2018). Cultured meat: state of the art and future. *Biomanufacturing Reviews*, 3, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40898-018-0005-1>

[8] Ponte, N. (2023). *El futuro de la alimentación: los sustitutos de la carne y la percepción de consumo en Argentina* [Trabajo Final Integrador, Universidad ISALUD] Repositorio Institucional Digital. <http://repositorio.isalud.edu.ar/xmlui/handle/123456789/562>

[9] Zúñiga Reynoso, G. V., Cruz Benítez, W. S., Mendoza Herrera, V., González Mendoza, N., Pérez Zavala, M. de L., Barboza Pérez, U. & Barboza Corona, J. E. (2021). Agricultura celular: produciendo alimentos y otros productos sin el uso de animales o plantas. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 10. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3301>

[10] World Health Organization. (2023). *Food safety aspects of cell-based food*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240070943>

[11] Soucase Gómez, J. (2021). *Alimentos sintéticos y su proyección de futuro: aspectos legales, medioambientales y éticos* [Trabajo Final de Grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/173919>

Concientifica

Aguas residuales de rastros municipales

El impacto inadvertido en el entorno rural

Oscar Marín-Peña^{1,2*}
Luis C. Sandoval-Herazo²
Alejandro Alvarado-Lassman³

Resumen

Las aguas residuales de rastros, ricas en materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos y patógenos, plantean un grave problema ambiental cuando no reciben un tratamiento adecuado. En zonas rurales, la falta de infraestructura para tratar estas aguas antes de su vertido en cuerpos de agua causa daños significativos al ecosistema y amenaza la salud pública. La identificación de ecotecnologías basadas en la naturaleza es esencial en estas áreas, donde la concienciación ambiental y la participación comunitaria son factores clave para el éxito de estos sistemas. Su adopción puede contribuir significativamente a mitigar este problema de alcance general.

Palabras clave: Aguas residuales, entornos rurales, impacto ambiental.

El agua, ese recurso vital y preciado, es la esencia misma de la vida en nuestro planeta. Desde los albores de la humanidad, ha sido un elemento fundamental para la supervivencia, el desarrollo y el bienestar de todas las formas de vida en la Tierra. Sin embargo, su abundancia aparente ha llevado a una tendencia preocupante: el uso excesivo e irresponsable del agua. La importancia del agua va mucho más allá de nuestra necesidad básica de beber. Es esencial en la agricultura, la industria, la generación de energía y una amplia variedad de actividades humanas. Además, los ecosistemas naturales también dependen de un suministro constante de agua para mante-

¹Estancia Posdoctoral CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías) Tecnológico Nacional de México/ITS de Misantla, Veracruz, México.

²Laboratorio de Humedales y Sustentabilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Tecnológico Nacional de México/ITS de Misantla, Veracruz, México.

³División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México / IT de Orizaba, Veracruz, México.

*Autor para la correspondencia:
oscar.mciq@gmail.com

ner su equilibrio y biodiversidad. Desafortunadamente, estas actividades humanas que conllevan al desarrollo social y económico tanto en entornos urbanos como en rurales a menudo demandan un consumo desmedido de agua y a su vez, generan una gran cantidad de aguas residuales, entre estas actividades podemos mencionar una de las más importantes: la producción de carne.

En México, los lugares donde se obtienen productos cárnicos son llamados rastros y se clasifican en dos tipos, los rastros tipo inspección federal y los rastros municipales. Los impactos ambientales en el primer tipo de rastro son mínimos debido a que cuentan con regulaciones ambientales y supervisión federal estricta, pues sus aguas residuales suelen estar conectadas a los sistemas de tratamientos urbanos [1]. En contraste, los rastros en zonas municipales, principalmente en zonas rurales, no suelen contar con este tipo de regulaciones, sus actividades son irregulares y lo que es más preocupante, no suelen contar con algún tratamiento adecuado para las aguas residuales o simplemente no existen dichos tratamien-

tos. Las actividades para la obtención de productos cárnicos en los rastros suelen ser similares y varían ligeramente en cuanto al tipo de animal a sacrificar (cerdo o ganado bovino). Las aguas residuales generadas en estas instalaciones tienen diferentes fuentes las cuales incluyen los servicios auxiliares, la preparación de los animales, el proceso de sacrificio, los procesos posteriores de preparación de carne, así como las instalaciones sanitarias de los trabajadores.

Entre estas aguas se pueden encontrar contenido ruminal, sangre, heces, grasas del paso de corte de carne, huesos y residuos intestinales del proceso de evisceración. Debido a su compleja composición, las aguas residuales generadas en rastros han sido establecidas como de naturaleza recalcitrante, es decir, que este tipo de residuos líquidos representan un verdadero desafío para eliminar completamente sus contaminantes antes de ser vertidos [2].



Figura 1. Aguas residuales de rastros vertidas en arroyos sin tratamiento previo.

Desde una perspectiva técnica, estas aguas residuales contienen principalmente materia orgánica, nutrientes (como nitrógeno y fósforo), sólidos suspendidos y patógenos. Cada componente tiene un impacto característico: la materia orgánica demanda mucho oxígeno para su descomposición, reduciendo los niveles de oxígeno en el agua; el exceso de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, causa eutrofización, favoreciendo el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas y afectando

la disponibilidad de alimentos y refugio para las especies [3]; los sólidos suspendidos aumentan la turbidez, reduciendo la penetración de la luz solar y afectando la fotosíntesis en las plantas acuáticas; y los patógenos, principalmente amenazas para la salud humana, se propagan a través del contacto directo en actividades agrícolas e higiene, especialmente en áreas rurales.

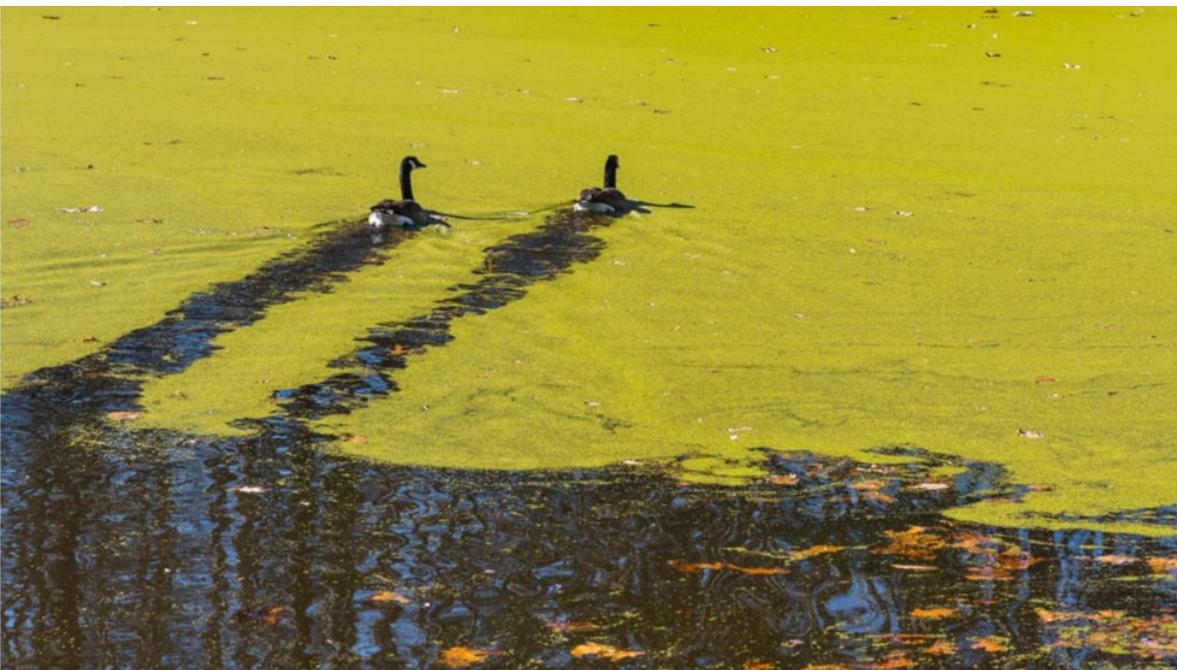


Figura 2. Contaminación en cuerpos de agua debido a desequilibrios ecológicos [3].

Estos contaminantes generan un desequilibrio ecológico en las zonas rurales, ya que afectan la vida acuática, incluyendo peces y otros organismos, así como a los animales terrestres que habitan cerca de los arroyos, como el ganado, animales domésticos, aves y roedores. Estos animales actúan como vectores que pueden contaminar los alimentos de otros seres vivos, incluyendo a los habitantes de la zona. Este fenómeno se ilustra en la Figura 3, donde se observa que el ganado bovino a menudo consume estas aguas contaminadas, lo que puede llevar a enfermedades gastrointestinales y contaminación de la carne producida, ya sea por agentes patógenos o sustancias tóxicas presentes en el agua ingerida por los animales. Los microorganismos patógenos en el agua para el ganado, como bacterias, virus o parásitos, pueden multiplicarse en el sistema digestivo del ganado, causando enfermedades que afectan la calidad de la carne. Asimismo, las sustancias químicas tóxicas en el agua del ganado, como metales pesados, pesticidas, herbicidas o productos químicos industriales, pueden acumularse en los tejidos del animal con el tiempo, representando un riesgo para la

salud humana si se consume [4].

Las aguas residuales de rastros representan una importante fuente de contaminación junto a las aguas residuales domésticas, estas crean condiciones para la propagación de enfermedades infecciosas las cuales presenta una alta mortalidad infantil por enfermedades diarreicas. En las zonas rurales, los pobladores suelen tener contacto directo o indirecto con el agua de río contaminado por estas aguas residuales, como por ejemplo al consumirla para beber, cocinar, lavar alimentos y en el uso de riego de cultivos por parte de los agricultores. Además, los productos pesqueros pueden representar también riesgos para la salud [5]. Se calcula que el 48 % de las muertes por dicha causa pueden ser evitadas con medidas de saneamiento de aguas residuales, pues estos servicios permiten la reducción de la mortalidad y morbilidad entre la población menor de cinco años y la disminución de enfermedades de transmisión por agua (hepatitis viral, fiebre tifoidea, cólera, disentería y otras causantes de diarrea) [6]. El impacto ambiental inadvertido en las zonas rurales es consecuencia de la margi-



Figura 3. Riesgos de infecciones en el consumo de agua contaminada.

nación de las localidades que está correlacionada con su ubicación geográfica. Conforme las poblaciones se encuentran más aisladas, mayor es la precariedad de los servicios. Generalmente, los recursos en las agencias municipales son limitados por lo cual, es muy difícil contar con plantas de tratamientos de aguas residuales para los rastros municipales. En México, el acceso a saneamiento básico mejorado es de un 64 % en el medio urbano, mientras que en el medio rural sólo es de 39 %. Son 14 los estados con mayor rezago en el acceso a los servicios, en los que el porcentaje de población que cuenta con saneamiento básico mejorado oscila entre 10 y 50% [6]. Además de la precariedad en infraestructura, se evidencia una falta de información y divulgación hacia los trabajadores de estas instalaciones por parte de los dueños y autoridades. Muchas veces, no están plenamente conscientes de los efectos negativos que las prácticas establecidas en sus lugares de trabajo pueden tener en el medio ambiente, situación que se agrava por el escaso esfuerzo de las autoridades en proporcionar la información necesaria y en tomar medidas adecuadas.

Ante este panorama, es evidente que estas zonas necesitan atención primordial por parte de las autoridades, pues existen diversas formas en las cuales estos impactos se pueden ir mitigando en mediano o largo plazo. Existen tres enfoques que juntos pueden presentar una solución integral a estos problemas. El primer enfoque es investigar y encontrar sistemas de tratamiento viables basados en la naturaleza como los humedales construidos y los biorreactores anaerobios, ya que su funcionamiento se basa en el uso de vegetación, microorganismos y medios filtrantes. Estos sistemas biológicos no requieren una inversión elevada ni costos operativos y de mantenimiento significativos. La tecnología de humedales construidos ha mostrado un gran potencial para la conservación de cuencas, ríos y lagos, especialmente debido a su similitud en la función de calidad del agua con los humedales naturales. Ecológicamente, estos sistemas tienen el beneficio adicional de aumentar los hábitats na-

turales. Esta ecotecnología puede representar un plus en su implementación al utilizar plantas ornamentales y diseños característicos de la región, lo cual aumenta el sentido de pertenencia, como es el caso de éxito del humedal construido con diseño de flor y mariposa en una comunidad en Tailandia (Figura 4).

Por otro lado, los biorreactores anaerobios representan también una alternativa ecológica para su implementación en áreas rurales, especialmente los reactores de biopelícula fija que no requieren muchos equipos adicionales para su funcionamiento. Un sistema biológico basado en la naturaleza biorreactor – humedal construido puede potenciar el grado de limpieza de las aguas residuales en las comunidades.

El segundo enfoque es la implementación exitosa de estas tecnologías sostenibles. Después de llevar a cabo una investigación sobre las condiciones del entorno y seleccionar el sistema adecuado, estos sistemas se instalan en lugares estratégicos para recibir las aguas residuales de los rastros. Estos sistemas permiten obtener aguas residuales con un menor nivel de contaminantes antes de ser vertidas a los cuerpos de agua. En el caso de los biorreactores anaerobios, es posible obtener un valor agregado, como el biogás, que puede utilizarse como bioenergía. Y el tercer enfoque es la participación comunitaria y la concientización ambiental, pero sobre todo la motivación de las autoridades locales y federales para colaborar con la implementación de estos sistemas. Si existe una buena colaboración entre pobladores, autoridades y académicos en la implementación de estas ecotecnologías, se logra un sentido de pertenencia único y obtienen información técnica valiosa para mantener y cuidar estos sistemas, evitando también actos de vandalismo y permitiendo un mejor cuidado del medio ambiente. La combinación de estas medidas puede contribuir significativamente a mitigar el problema de las aguas residuales de rastros rurales y reducir su impacto ambiental, protegiendo al mismo tiempo la salud de las comunidades locales y la sostenibilidad del entorno rural. **iBIO**



Figura 4. Sistema de humedales construido con diseño de flor y mariposa [7].

Agradecimientos

Agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el proyecto financiado de Ciencia Básica y de Frontera No. CF-2023-I-2318, que permitió la ejecución de las diferentes actividades de investigación para la publicación de este artículo de divulgación.

Referencias

- [1] Rodríguez, R. V., & Valdez, J. G. (2019). *Manejo integral de efluentes residuales generados en los rastros municipales*. CIATEJ ISBN: 978-607-8734-06-1. Disponible en: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/683> (Acceso: Julio 07 2023)
- [2] Ng, M., Dalhatou, S., Wilson, J., Kamdem, B. P., Temitope, M. B., Paumo, H. K., ... & Kane, A. (2022). Characterization of slaughterhouse wastewater and development of treatment techniques: a review. *Processes*, 10(7), 1300. <https://doi.org/10.3390/pr10071300>
- [3] El Ágora. (2021). *Los lagos de todo el planeta se están quedando sin oxígeno*. Madrid 2021. Disponible en:

<https://www.elagoradiario.com/agua/disminuye-oxigeno-aumenta-eutrofizacion-lagos/> (Acceso: Julio 07 2023)

[4] Willms, W. D., Kenzie, O. R., McAllister, T. A., Colwell, D., Veira, D., Wilmshurst, J. F., ... & Olson, M. E. (2002). Effects of water quality on cattle performance. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 55(5), 452-460.

[5] Malik, A., Yasar, A., Tabinda, A. B., & Abubakar, M. (2012). Water-borne diseases, cost of illness and willingness to pay for diseases interventions in rural communities of developing countries. *Iranian journal of public health*, 41(6), 39.

[6] CONAGUA, 2020. *Programa Nacional Hídrico 2020-2024*. Disponible en línea: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0 (Acceso en 08 Julio 2023).

[7] Brix, H., Koottatep, T., Fryd, O., & Laugesen, C. H. (2011). The flower and the butterfly constructed wetland system at Koh Phi Phi—System design and lessons learned during implementation and operation. *Ecological engineering*, 37(5), 729-735.

A blurred city street at sunset with a cobblestone path in the foreground. The sun is low on the horizon, creating a warm, golden glow and lens flare. The buildings are out of focus, and the cobblestones in the foreground are also blurred, creating a sense of depth and movement.

Bio- emprendimientos

Microorganismos para la descontaminación del agua

Resumen

SINBIO es una empresa que nace para resolver un problema local de la península de Yucatán en México. Los conocimientos en biotecnología que los socios fundadores obtuvieron durante su formación en la Universidad Autónoma de Yucatán los llevaron a desarrollar una idea que con el paso del tiempo ha ayudado a la descontaminación de las aguas residuales y a su vez han logrado consolidar y diversificar una empresa de base tecnológica que da empleo a alrededor de 15 personas.

Palabras clave: Microorganismos, PTAR, bioemprendimiento.

Uno de los principales problemas que tiene la Península de Yucatán, México, es el del drenaje ya que se tiene un suelo llamado Kárstico, que es piedra muy dura y al mismo tiempo filtra todo lo que retiene. En consecuencia, los sistemas de desecho para las aguas residuales desde una casa, restaurante o industria en su mayoría son fosas individuales que comúnmente se llenan rápido y se tiene que llamar a una compañía para desazolvar. Una solución a este problema, consiste en el uso de microorganismos que degradan la materia orgánica con alta eficiencia. Una empresa yucateca se ha dado a la tarea de producir y comercializar estos microorganismos en un producto llamado Biodrop. Además, han adaptado este proceso a de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales (PTARs).

En esta ocasión entrevistamos al IBT Raziél Cachón Herrera de la empresa SINBIO quien nos compartió su experiencia en el ámbito del emprendimiento en biotecnología ambiental.

Isauro Guzman Cortez^{1,2}
Raziél Cachón Herrera^{3*}

¹Unidad Profesional Interdisciplinario de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto, La Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, CDMX, México.

²Unidad de Investigación Médica en Inmunoquímica, Instituto Mexicano del Seguro Social, Av. Cuauhtémoc 330, Doctores, Cuauhtémoc, CDMX, México.

³SINBIO, Calle 22 entre Calle 47 y 49, N 497 Col. Sol Campestre. CP 97113 Mérida, Yucatán.

*Autor para la correspondencia:
rcachon@sinbio.com.mx

¿Cómo identificaron la necesidad?

Durante mis prácticas profesionales tuve la oportunidad de trabajar en una empresa que se dedicaba al diseño de PTARs, y en esa experiencia identifiqué un área de oportunidad en el sector restaurantero. Un problema que le dolía a los clientes es el tema de los desazolves con pipas, éstas iban a restaurantes, casas, centros comerciales y hoteles porque los lodos y la grasa saturan los sistemas sépticos, esto en gran medida era por la falta de mantenimiento o por deficiente diseño de los sistemas de tratamientos.

Los sistemas sépticos de Yucatán terminan en un pozo de absorción y si no se les da mantenimiento, los lodos y la grasa se acumula y pasan al pozo iniciando una impermeabilización en las venas de absorción. A este fenómeno se le nombra el efecto Cisterna o Tinaco, esto es, que solamente se retiene agua y ya no existe infiltración ocasionado desbordamientos en las primeras etapas del tratamiento y se tiene que llamar a una pipa constantemente. En SINBIO, observamos esta problemática y empezamos a estudiar para encontrar una solución,

teniendo como resultado el uso de productos biotecnológicos. Teóricamente, si aumentamos la cantidad de microorganismos que hay dentro del sistema, siempre y cuando éstos no sean de tipo filamentosos (que provocan el lodo espeso que impermeabilizan el pozo), el lodo no saturaría el sistema de tratamiento, en consecuencia, se disolvería el lodo por la acción de microorganismos y volvería la absorción en las venas del pozo. Con base en lo anterior, se realizaron trabajos con diferentes empresas de la zona y con algunos centros de investigación y como resultado se logró desarrollar un producto biotecnológico. Al principio no sabíamos si funcionaría, pero sí sabíamos que había bacterias llamadas facultativas, las cuales tienen la capacidad de reproducirse con poco oxígeno y que podían competir con otras bacterias que no queríamos ¡Y funcionó! (Figura 1).

Este producto hoy en día se llama Biodrop y es una pastilla que dosificamos en una trampa de grasa para que pueda aumentar la cantidad de microorganismos que hay en el agua residual y empezar a descontaminar el agua para que no cree un problema severo, como una obstrucción en casas o en restaurantes (Figura 2).

¿Cuál fue la principal motivación para em-

prender el ámbito de los Bionegocios?

Toda empresa tiene como objetivo resolver un problema, en nuestro caso, “nos enamoramos del problema”. Los primeros en validar el Biodrop fueron los restaurantes, en donde comúnmente suelen obstruirse las tuberías y saturar el pozo provocando que exista mala higiene y se desprendan olores desagradables. Por lo cual SINBIO encontró una solución, lo que les permitirá a los restaurantes mejorar la higiene y calidad en su servicio; y enfocarse en el principal objetivo que es la atención a sus clientes.

¿Cuál crees que han sido sus mayores obstáculos y cómo los superaron?

Al inicio fue el tema de entrar al mundo de los negocios porque lamentablemente no teníamos conocimientos en este ámbito. En una ocasión, una constructora nos contrató para crear todo el sistema séptico de control de grasa. Era una cotización bastante alta, las trampas eran muy costosas y nosotros no leímos las letras chiquitas, que era básicamente te doy el anticipo, pero te voy a pagar el resto en los 90 días después del trabajo. Fue la primera vez que tuvimos un endeudamiento, porque en la instalación de las trampas nos tardamos un



Figura 1. Izquierda: Fotografía de un pozo de absorción saturado e impermeabilizado por grasa y aceites. Central: Fotografía de un pozo absorción saturado e impermeabilizado por lodos espesos. Derecha: Fotografía de un pozo absorción después de un tratamiento de Biodrop Bloque y mantenimiento del equipo de SINBIO. Regresó la absorción del agua en las venas.

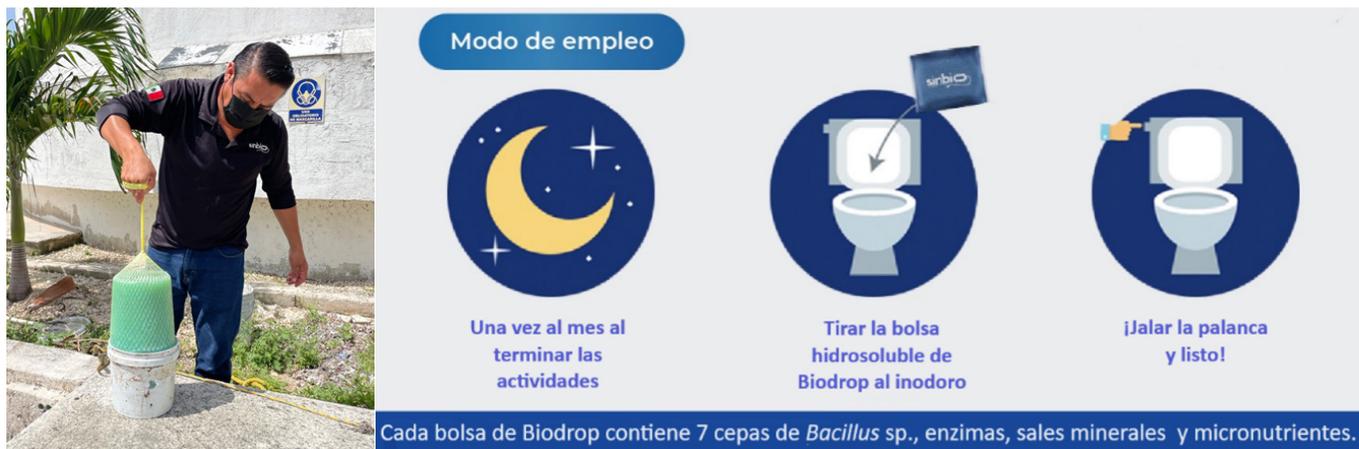


Figura 2. Izquierda: Técnico de SINBIO colocando el Biodrop Bloque para descomponer grasas y aceites del agua residual de una PTAR municipal y renovar la microflora del tratamiento biológico. Derecha: Modo de empleo del Biodrop doméstico.

mes y tuvimos que esperar casi cuatro meses para poder recibir el otro tanto de pago.

En ese momento dijimos no podemos vivir del control de grasa. Tardamos mucho en conseguir clientes con pólizas de mantenimiento. No hay la concientización del cuidado del medio ambiente y sigue siendo muy competitivo el precio de una pipa. Además, había empresas que tenían un producto similar al nuestro que traían del extranjero. En ese proceso entendimos como equipo que teníamos que diversificar los servicios de SINBIO, y fue así que dimos el primer paso al tratamiento de aguas residuales. Empezamos tocando puertas en las industrias, teniendo en cuenta que en ese momento el tratamiento sólo era un requisito más que debía cumplirse. Al final, sucedía lo mismo que en los sistemas sépticos convencionales, en donde se producía mucho lodo que iba directamente al pozo de absorción debido al mal funcionamiento del mantenimiento preventivo, lo cual ocasionaba un problema de obstrucción aún mayor. Afortunadamente, el tocar puertas nos abrió oportunidades para trabajar en dos proyectos de PTAR's, mismos que nos ayudó a liquidar las deudas de la empresa.

Podemos decir, que diversificar nuestros servicios nos salvó durante la pandemia. Ahora sabemos que no puedes dejar todos los huevos de tu negocio en una sola canasta, tienes que tener varias canastas ante las posibles contingencias. Al final si se pierde un cliente o hay retrasos en los pagos, tienes otras fuentes

de ingreso que permitirán que el negocio fluya.

¿Cómo es que han podido competir con opciones similares?

En el control de grasa, a diferencia de la competencia, nosotros pudimos bajar los costos de producción al no importar los insumos. Tenemos en mente entrar en las tiendas de conveniencia por venta al menudeo, pero la limitante actualmente es la inversión y la capacidad tecnológica para producir a escala industrial suficiente cantidad de bacterias.

Por otro lado, en la operación de PTAR, tener certificaciones como la ISO-9001 y actualizar al equipo en temas de tratamiento de aguas nos ha convertido en una empresa muy competitiva en la región, esto va de la mano con la poca rotación de personal que tenemos (Figura 3).

¿Qué se requiere para mantener funcionando una empresa de base biotecnológica?

Para que funcione una empresa de base de innovación el problema tiene que estar bien identificado. Tienes que enfocarte muy bien en el problema que estás solucionando y entender en qué negocio te encuentras. A nosotros nos costó entender que el negocio se encontraba directamente en el tratamiento del agua y no en el área de la biotecnología.

Si cuando estamos emprendiendo no nos enamoramos del problema y no identificamos

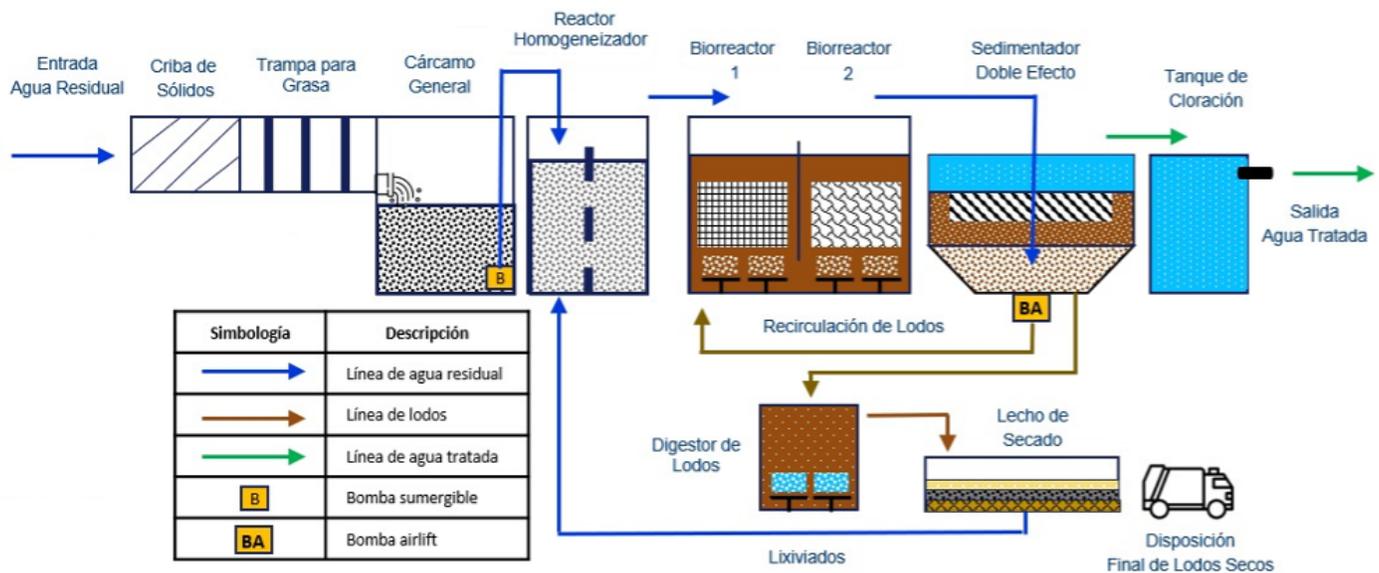


Figura 3. Tren de tratamiento de TSPBIO. El proceso de tratamiento inicia con la retención de sólidos a través de un sistema de criba. Posteriormente, las aguas pasan a una trampa donde las grasas son retenidas, permitiendo que en el Cárcamo general circulen aguas libres de grasas y sólidos de gran tamaño. Estas aguas se bombean hacia el Reactor homogeneizador, donde se mezclan con los lixiviados provenientes del Lecho de secado. En los Biorreactores 1 y 2, los microorganismos aprovechan la materia orgánica presente para reproducirse, mientras que el aire suministrado por la Bomba airlift facilita la transformación de los sustratos en compuestos inofensivos para el medio ambiente mediante su metabolismo. Simultáneamente, en el Sedimentador, los sólidos se depositan en el fondo, y el agua restante en la parte superior se somete a un tratamiento final con cloro para eliminar todos los microorganismos presentes. Otro proceso importante tiene lugar en el Digestor de lodos, donde se utilizan los residuos orgánicos de los lodos del Sedimentador. Esto permite aprovechar los compuestos que aún pueden ser degradados por microorganismos en un ambiente sin oxígeno (procesos anaerobios). De este proceso, se pasarán los lodos a un Lecho de secado, donde se recuperan los lixiviados para ser dirigidos nuevamente al Reactor homogeneizador y el resto de los residuos se mandarán a disposición final mediante una compañía dedicada a este fin.

en qué negocio estamos, empezamos a perder el camino de la automotivación.

No es necesario tener un gran laboratorio, en nuestro caso es algo sencillo, como si estuvieses en una práctica de la escuela en la que partimos de un cultivo activo para convertirlo con diferentes procesos en tres presentaciones: polvo, líquido y bloque.

¿Qué conocimientos aprendidos en la universidad aplican?

La primera es que hay mucha información en inglés, hay muchas empresas que están haciendo cosas muy padres que pueden enfocarse en tu nicho y el poder buscar, leer y entender lo que hacen, te puede ayudar mucho en el tema de la innovación y del emprendimiento. A veces la innovación está en tropicalizar, es decir, hacer lo que existe en otra parte del mundo, pero enfocarlo en las necesidades que tienes en tu región.

El tema de las nuevas tendencias de la ciencia, la tecnología y los problemas actuales

que vive el mundo, el hablar de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de la economía circular que involucra muchas materias que vimos en la carrera de biotecnología, es un concepto que, si lo entendemos e investigamos un poquito más, para allá va la tendencia. Por ejemplo, si operas bien una planta de tratamiento, se puede obtener subproductos que también pueden venderse como abono o incluso producir energía eléctrica y al final la operación de la PTAR podría pagarse sola.

Algo que lamentablemente tuve que aprender por medio de cursos, es el tema de la programación. Cada vez la tendencia va a enfocarse en herramientas tecnológicas de programación para poder darnos datos más rápidos y más precisos.

Estas serían las tres cosas: el inglés, los nuevos conceptos como economía circular y la programación.

¿Cómo apoya a SINBIO la llegada de las nuevas inteligencias artificiales?

Mucho, en la empresa tratamos de hacer Networking, con el tema de apoyo interdisciplinario, multidisciplinario, alianzas comerciales y de innovación. Por ejemplo, nuestro producto ha ido mejorando gracias a la bioinformática, un colega está haciendo su postdoctorado en la Universidad de San Diego, él se ha llevado un poco de nuestro cultivo para estudiarlo y nos ha dicho qué encontró, cómo está la eficiencia del producto e incluso si ya hay otro microorganismo que puede ayudar a mejorar el Biodrop, esto por medio de herramientas bioinformáticas.

Además, una practicante que estuvo en la empresa, hoy está en Nueva Zelanda y allá están aplicando herramientas bioinformáticas para mejorar los lodos de las PTARs. En Europa, hacen estudios filogenéticos a sus lodos para saber su perfil genético y ver cómo mejorar la eficiencia de la PTAR. Aparte, son plantas que están involucradas en el tema energético, meten desechos para producir biogás y producir electricidad.

Para terminar una frase de Santiago Ramón y Cajal, Premio Nobel de Medicina en 1906 que me marco en los inicios fue: “Las ideas no duran mucho. Hay que hacer algo con ellas” [1]. La fórmula para iniciar en los bionegocios no es exacta, pero si tienes un problema, una herramienta para solucionarlo y el equipo adecuado, aprovecha la oportunidad. El camino no es fácil, pero vale la pena intentarlo. **iBIO**

Glosario

Agua residual: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas [2].

Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR): Infraestructura para remover, de conformidad con las necesidades del cuerpo receptor, contaminantes, que se incorporan directa o indirectamente durante el uso o aprove-

chamiento del agua de primer uso [3].

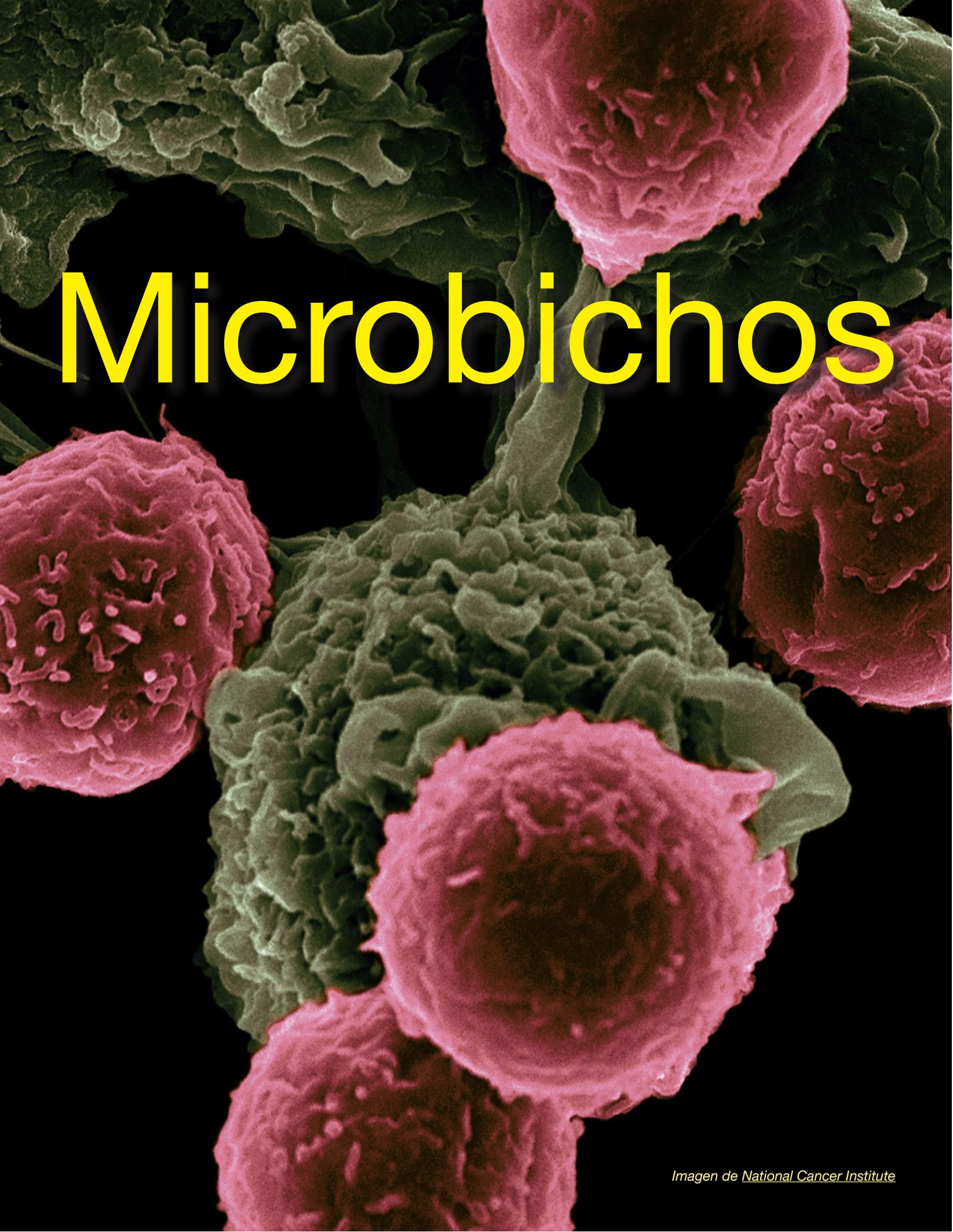
Lodos: Son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización [4].

Lixiviados: Líquido proveniente de los lodos y biosólidos, el cual se forma por reacción o percolación y que contiene contaminantes disueltos o en suspensión [4].

Referencias

- [1] Pastor, V. (2016). “Las ideas no duran mucho. Hay que hacer algo con ellas.” Santiago Ramón y Cajal. *Revista española de medicina preventiva y salud pública*, 22(3), 3-4.
- [2] CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. (1992). *LEY DE AGUAS NACIONALES*. Última reforma publicada DOF 08-05-2023. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- [3] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2022). *REGLAS de Operación para los Programas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento y Tratamiento de Aguas Residuales a cargo de la Comisión Nacional del Agua, aplicables a partir de 2023*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/789121/Reglas_de_operacion_PROAGUA_2023.pdf
- [4] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). *NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003



A scanning electron micrograph (SEM) showing several cells. The cells are colored in shades of green and pink. The green cells have a highly textured, almost crystalline surface, while the pink cells have a smoother, more rounded appearance. The cells are arranged in a cluster, with some overlapping. The background is black.

Microbichos

Los virus: “Amigos” o “enemigos” de la humanidad

Adriana Contreras-Paredes^{1*}
Pilar Ramos-Godínez²

Resumen

Los virus son parásitos intracelulares constituidos por ácidos nucleicos que se asocian con el desarrollo de enfermedades y; por lo tanto, se han catalogado como “enemigos” de la humanidad. Sin embargo, existe otro panorama en el cual los virus se han empleado como herramientas para el desarrollo de tratamientos innovadores contra enfermedades como el cáncer. La terapia contra el cáncer basada en virus denominados oncolíticos representa una opción para los pacientes que no responden a los tratamientos convencionales. Aquí discutiremos las evidencias que apoyan el papel de los virus como agentes oncogénicos y como herramientas en el tratamiento del cáncer.

Palabras clave: Cáncer, virus oncogénicos, virus oncolíticos.

Introducción

Hasta el momento se han descubierto alrededor de 1400 patógenos humanos, una séptima parte de los cuales son virus. Las infecciones virales representan un problema de salud pública, ya que se asocia al desarrollo de diversas enfermedades, entre las que resalta el cáncer; los virus que se asocian al desarrollo de cáncer se denominan virus oncogénicos [1]. Las infecciones con virus oncogénicos son responsables de un número estimado de 150,000 casos de cáncer diagnosticados cada año [2].

El cáncer es un grupo de enfermedades con etiologías diferentes, que tienen en común la pérdida de los procesos reguladores del ciclo celular, lo que resulta en una mayor proli-

feración celular (proceso mediante el cual una célula se divide y da origen a dos células hijas) [3]. La pérdida de control puede afectar tanto a las proteínas supresoras de tumores como a los oncogenes. Además de las mutaciones genéticas intrínsecas de las células y los factores ambientales, la infección por virus oncogénicos también en la transformación celular [2].

Los tratamientos actuales contra el cáncer incluyen cirugía, radiación y medicamentos quimioterapéuticos, que a menudo matan también a las células sanas y provocan toxicidad en los pacientes (nefrotoxicidad, neurotoxicidad, entre otros). Por lo tanto, constantemente se buscan tratamientos dirigidos específicamente contra las células malignas y con toxicidad reducida. Una herramienta empleada en el desarrollo de nuevas terapias más específicas contra cáncer son los virus oncolíticos (VO). En este artículo revisaremos algunas evidencias del papel de los virus tanto como agentes causales del cáncer, así como su papel en el desarrollo de nuevas terapias para el tratamiento de esta enfermedad.

Virus oncogénicos

Aproximadamente el 19% de los cánceres humanos en todo el mundo son causados por la infección con un virus oncogénico, y más del 80 % de los casos ocurren en países en vías de

*Autor para la correspondencia:
adrycont@yahoo.com.mx

desarrollo, como México [4]. Así, uno de cada 7 casos de cáncer está asociado con una infección persistente con algún virus oncogénico. Actualmente la Agencia internacional para la investigación en cáncer (IARC, por su nombre en inglés) ha clasificado como agentes carcinogénicos a los siguientes virus: Virus de la Hepatitis B (VHB), el Virus de la Hepatitis C (VHC), Virus del Herpes Humano tipo 8 (VHH-8), Virus del Papiloma Humano (VPH), Virus de Epstein Barr (VEB), Virus de la leucemia de células T humana (VLTH-1) y el Poliomavirus de células de Merkel (PVCM) (Tabla 1) [4].

Las rutas por las cuales los virus oncogénicos pueden inducir la carcinogénesis pueden ser directas o indirectas. En la carcinogénesis directa, algunos virus oncogénicos contienen información genética que codifica para oncoproteínas, las cuales son capaces de interactuar con proteínas celulares y modular su fun-

ción, sobre todo aquellas involucradas en vías que regulan la proliferación y la muerte celular [4]. El ejemplo clásico de este mecanismo son los VPHs de alto riesgo (VPH-AR), los cuales se asocian al desarrollo de diferentes tipos de cáncer ginecológicos, así como de cabeza y cuello (Tabla 1). Estos virus poseen tres proteínas oncogénicas denominadas E6, E7 y E5 que inhiben la función de numerosas proteínas que regulan el ciclo celular como: p53 y pRb [5]. En la carcinogénesis indirecta los virus no poseen información genética que codifique para oncoproteínas; por lo general, su mecanismo carcinogénico se basa en inducir un proceso inflamatorio persistente y un estado crónico de inmunosupresión [4]. Un ejemplo de estos virus es el VHH-8. Existen algunos virus que pueden combinar ambos mecanismos de acción como es el caso de los VHC y VHB, estos virus generan hepatitis (inflamación del hígado) persistente que inducen entre otras cosas un aumento en las especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés) provocando un daño constante al tejido hepático, así como alteraciones en la vigilancia inmunológica, lo que favorece la carcinogénesis. Sin embargo, su genoma también contiene genes que codifican oncoproteínas que pueden promover la transformación celular. El genoma del VHC contiene la información para codificar a la proteína Core, que regula múltiples procesos celulares como la proliferación y la diferenciación celular [6].

Si bien las infecciones virales crónicas están asociados al desarrollo de diversos tipos de cáncer, en su defensa podríamos argumentar que los virus raramente son oncogénicos, ya que las infecciones virales son mucho más comunes que los cánceres existentes; un ejemplo claro es la infección persistente con el VPH, en donde menos del 1% de las mujeres infectadas con este virus desarrollan cáncer de cervix [5].

Además, la carcinogénesis inducida por los virus necesita periodos prolongados para generar la transformación celular (entre 10 y 15 años para el cáncer hepático inducido por el VHC), lo que hace que estos tipos de neoplasias tengan una amplia ventana de tiempo para

Tabla 1. Infecciones virales asociadas al desarrollo de cáncer [4].

Virus	Tipos de cáncer asociados
VEB	<i>Linfoma de Burkitt, Hodgkin, Carcinoma nasofaríngeo y cáncer gástrico</i>
VPH	<i>Cánceres de la región anogenital (Ano, cervix, vulva y vagina), así como cáncer de cabeza y cuello (lengua, orofaringe y paladar)</i>
VHH-8	<i>Sarcoma de Kaposi</i>
VHC	<i>Hepatocarcinomas (cáncer de hígado)</i>
VHB	<i>Cáncer de hígado, cáncer oral, colorrectal y pancreáticos</i>
VLTH-1	<i>Leucemia de células T humana tipo 1</i>
PVCM	<i>Carcinoma de células de Merkel</i>

VEB, Virus de Epstein Barr; VPH, Virus del Papiloma Humano; VHH-8, Virus del Herpes Humano; VHC, Virus de la Hepatitis C; VHB, Virus de la Hepatitis B; VLTH, Virus Linfotrópico Humano; PVCM Poliomavirus de Células de Merkel.

ser detectados y tratados [5,6].

Otra de las ventajas que presentan los cánceres asociados a infecciones virales son la existencia de vacunas que puedan prevenirlos como es el caso de los cánceres asociados a la infección con los VPH, VHC y VHB, para los cuales ya existen vacunas disponibles.

Terapias contra el cáncer basadas en virus oncolíticos

El esquema de tratamiento contra el cáncer se basa generalmente en la radioterapia y la quimioterapia, aunque en los últimos años la

nanotecnología ha mostrado avances prometedores en el campo del desarrollo de fármacos nuevos y su administración. En particular, las aplicaciones de nanopartículas para el tratamiento y diagnóstico del cáncer han alcanzado tal precisión que pueden detectar una célula cancerosa y entregarle una carga de tratamiento, evitando los eventos adversos observados en los esquemas de tratamiento tradicionales [7]. A pesar de que los virus son responsables del desarrollo de numerosos tipos de cáncer convirtiéndose en “enemigos” de la humanidad y que muchos esfuerzos se han enfocado al desarrollo de vacunas contra estos microorganismos, la otra cara de la moneda la representan los VO, los cuales se emplean como una estrategia innovadora para el transporte de fármacos quimioterapéuticos y moléculas biológicas para despertar la respuesta inmune contra el tumor (Figura 1) [7].

Hace más de un siglo se observó por primera vez que los pacientes con cáncer experimentaban una regresión de la enfermedad durante breves períodos, si se infectaban con ciertos virus [8]. En el caso de la leucemia, era bien sabido que adquirir la gripe a veces producía efectos beneficiosos.

Aunque no se documentaron casos en los que se indujera una curación completa, el tratamiento con el virus infeccioso se consideraba una alternativa a la falta de efectividad del tratamiento ordinario [8].

Los VO son una nueva clase de microorganismos que promueven la regresión tumoral por su replicación preferencial en células tumorales, estas poseen moléculas específicas en su membrana (receptores u otros antígenos), que les permi-

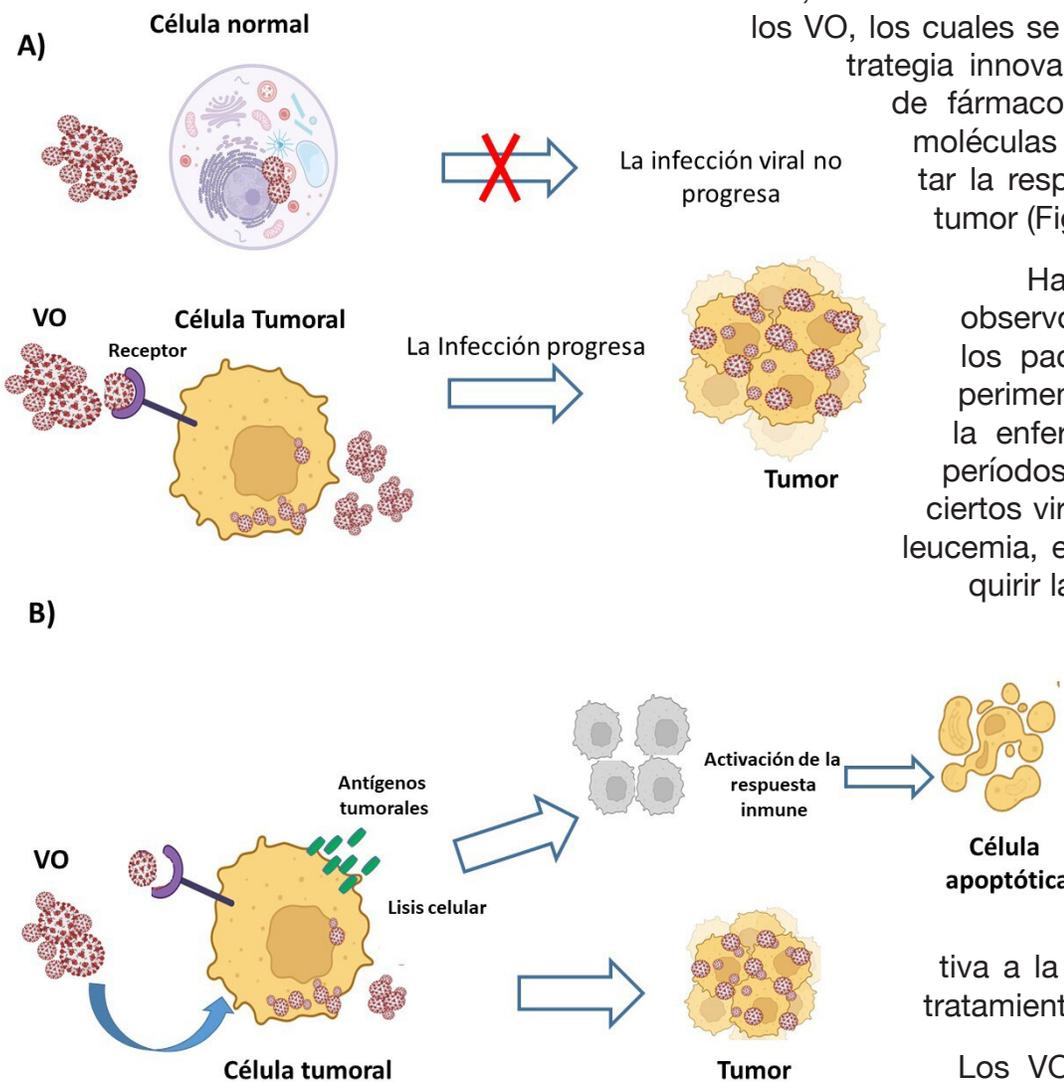


Figura 1. Mecanismo de acción de los virus oncolíticos. A) Los VO infectan selectivamente a células tumorales que expresan moléculas específicas en su membrana celular. B) Los VO matan a la célula cancerosa en primer lugar por lisis, lo que activa la respuesta inmune tumoral que contribuye a la muerte celular por apoptosis.

ten a los virus reconocer a las células tumorales (Figura 1A). La infección viral induce la muerte celular por lisis, lo que libera antígenos que son reconocidos por las células del sistema inmune (células dendríticas), activando la inmunidad antitumoral. Este proceso induce la actividad de enzimas denominadas caspasas que son las responsables de inducir la muerte por apoptosis (muerte celular programada) de las células tumorales [7] (Figura 1B).

La mayoría de los VO elegidos para despertar la respuesta inmune contra el tumor, son cepas que presentan una virulencia atenuada y que pueden replicarse en humanos sin causar ninguna enfermedad grave. Por otro lado, VO empleados como vehículos para hacer llegar agentes quimioterapéuticos específicamente a la célula tumoral, generalmente son cepas que no se pueden replicar en el humano como: los adenovirus. En ambos casos, el principal reto de la viroterapia oncolítica (VTO) era su poca especificidad, ya que los VO infectaban y lisaban indistintamente a las células sanas y a las cancerosas. Sin embargo, el desarrollo de la ingeniería genética y la biología molecular ha permitido que el genoma de los virus naturales puede modificarse para que infecten preferentemente células cancerosas (Figura 1) y transportar agentes quimioterapéuticos a los tumores [7].

La parte más desafiante de la VTO es identificar el virus y el método de administración que sea adecuado para el tipo de cáncer que se pretende tratar, ya sea tumores sólidos o hematológicos. Actualmente, varios virus, incluidos el virus *vaccinia*, *coxsackievirus* y los virus de las familias *adenoviridae*, *reoviridae* y *paramixoviridae* (el virus del sarampión) se están sometiendo a ensayos clínicos para su uso en el tratamiento de diversos tipos de cáncer [7]. A continuación, describiremos brevemente algunos ejemplos exitosos del uso de VTO, que permitirán entender su potencial como herramientas clínicas novedosas.

Hasta la fecha, se han aprobado tres VO a nivel mundial para el tratamiento de cánceres

en etapas avanzadas [8]. El primero fue aprobado en Letonia en el 2004, este es un virus de ARN derivado de la cepa nativa ECHO-7 de un picornavirus, llamado Rignvir, y logró la aprobación para su uso en el tratamiento del melanoma avanzado [8]. Posteriormente en el 2005, se aprobó el adenovirus Oncorine (H101) en China, para el tratamiento del carcinoma nasofaríngeo en combinación con la quimioterapia estándar para este tipo de cáncer [8]. Posteriormente, se desarrollaron otros VO en China, que incluyeron versiones mejoradas del Oncorine denominadas H103 y KH901, así como el virus del herpes simple (r-HSV-1), que se encuentran actualmente en ensayos clínicos para su aprobación en el tratamiento de diferentes tipos de cáncer [8].

Una de las VTO recientemente aprobadas por la Administración de alimentos y medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos en el 2015, es una forma modificada del virus del herpes simple tipo 1 (HSV-1) denominado Talimogene laherparepvec (T-VEC o Imlygic®). Este VO fue modificado para que su replicación sea específica para las células cancerosas. En las células normales, la replicación de este virus está bloqueada por la activación de la proteína quinasa R (PK), en contraste, en las células cancerosas esta proteína no es funcional, lo que asegura la replicación viral en las células de cáncer [9]. T-VEC se usa para tratar a algunos pacientes con melanoma avanzado que recaen después de la cirugía y no responden a las terapias tradicionales. El empleo de este VO evita los efectos secundarios de la quimio y radioterapia. Además, aumenta significativamente la tasa de supervivencia a cinco años cuando se combina con anticuerpos que bloquean los puntos de control inmunológicos como anti-PDL1 y anti-PD1 [9].

Finalmente, en el 2021 el Teseptarev/G47Δ (Delytact®) es otro HSV-1 de tercera generación que ha sido aprobado para su uso en el tratamiento de glioma en Japón [10]. Este virus presenta mutaciones espontáneas que le permiten replicarse más eficientemente en las células tumorales e induce la activación de la

respuesta inmune, reduciendo el tamaño del tumor. Este VO ha demostrado eficacia en varios tumores sólidos como tumores gastrointestinales y melanoma cuando se usa solo o combinado con quimio/radioterapia [10].

Existen varias propuestas de VO que se encuentran en diferentes fases de estudio, uno de los más prometedores es el virus M032, este es un HSV1 cuyo genoma fue modificado para que contenga el gen de la interleucina 12 (IL-12), el cual se incorpora al material genético de las células tumorales cuando son infectadas. Posteriormente, la proteína IL-12 es liberada cuando la célula tumoral es lisada por la infección con VO, lo que promueve una respuesta inmunitaria antitumoral [9].

Un aspecto importante que considerar en el uso de estos virus modificados es el riesgo biológico que existe; ya que, aunque se emplean cepas con virulencia atenuadas e incapaces de replicarse en el humano, en algunos casos se recombinan con el material genético de la célula, pudiendo modificar su capacidad infecciosa y representar un riesgo epidemiológico severo para la humanidad.

Conclusiones

En este artículo mostramos algunas evidencias que nos muestran que los virus no solo son parásitos dañinos para el hombre que se asocian al desarrollo de distintas enfermedades incluyendo el cáncer, sino que también representan una novedosa herramienta para la nanotecnología en el desarrollo de nuevos tratamientos contra el cáncer.

La VTO, aunque compleja y desafiante, podría representar una opción de tratamiento en casos de cáncer en los que las terapias estándar no han sido eficaces o como una terapia complementaria encaminada a disminuir los efectos secundarios de la quimio y radioterapia.

Con lo expuesto en este artículo, podríamos cuestionarnos, ¿son los virus realmente “enemigos” de la humanidad? **iBIO**

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado parcialmente por el proyecto de CONAHCYT- CF.2019-263979.

Referencias

- [1] Parkin, D M. (2006). The global health burden of infection-associated cancers in the year 2002. *International Journal of Cancer*, 118(12), 3030-3044. <https://doi.org/10.1002/ijc.21731>.
- [2] Russell, L. (2019). Viruses and tumor cell microenvironment: A brief summary. *Surgical Neurology International*, 10 (160), 1-9. <https://doi.org/10.25259/SNI.351.2019>.
- [3] White, MK., Pagano, JS., Khalili, K. (2014). Viruses and human cancers: a long road of discovery of molecular paradigms. *Clinical Microbiology Reviews*, 27(3),463-481. <https://doi.org/10.1128/CMR.00124-13>.
- [4] Morales-Sánchez, A., Fuentes-Pananá, E. (2014). *Human viruses and cancer. Viruses*, 6(10),4047-4079. <https://doi.org/10.3390/v6104047>.
- [5] Araldi, P., Sant Ana, H., Grandon D., et al. (2018). The human papillomavirus (HPV)-related cancer biology: An overview. *Biomed Pharmacotherapy*, 106, 1537-1556. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.06.149>.
- [6] Rusyn, I., Stanley, M. (2014). Mechanisms of HCV-induced liver cancer: what did we learn from in vitro and animal studies? *Cancer Lett*, 345(2),210-215. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2013.06.028>.
- [7] Abdul, N., Khan, A., Jiayi L., et.al. (2021). Nanotechnology, a tool for diagnostics and treatment of cancer. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 21(15),1360-1376. <https://doi.org/10.2174/1568026621666210701144124>.
- [8] Macedo, N., Miller, D., Haq, R., et.al.. (2020). Clinical landscape of oncolytic virus research in 2020. *Journal Immunother Cancer*, 8(2),1-14. <https://doi.org/10.1136/jitc-2020-001486>.
- [9] Kohlhapp, F., Kaufman, H. (2016). Molecular Pathways: Mechanism of action for talimogene laherparepvec, a new oncolytic virus immunotherapy. *Clinical Cancer Research*, 22(5),1048-1054. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-15-2667>.
- [10] Frampton, J. (2022). Teseptaturev/G47Δ: First approval. *BioDrugs*, 36(5),667-672. <https://doi.org/10.1007/s40259-022-00553-7>.



Microbichos

El Pulque: un regalo de los Dioses

Concepción Calderón García
Edith Ponce Alquicira
Yesica Ruiz Ramírez*

Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, San Rafael Atlixco No.186, Col. Vicentina, 09340, Iztapalapa, Ciudad de México, México.

*Autor para la correspondencia:
ruiz1706@xanum.uam.mx

Resumen

El pulque es una bebida alcohólica producto de la fermentación del aguamiel que se obtiene de diversas especies de agave. Históricamente, esta bebida se consideraba un regalo de los Dioses, principalmente por la alegría que provocaba después de consumirlo y por los beneficios que podían percibir. En la actualidad, algunos beneficios del pulque han sido asociados a su gran diversidad de microorganismos, principalmente bacterias. En este texto abordamos algunas cuestiones históricas, el proceso de producción, y los beneficios del pulque.

Palabras clave: Pulque, fermentación, probióticos.

El pulque es una bebida alcohólica, de aspecto viscoso, color blanco y ligeramente ácida, obtenida de la fermentación del aguamiel; un líquido ligeramente turbio y alto en azúcares que se obtiene de diversas especies de plantas del género *Agave* (Figura 1) [1]. México es un país lleno de historia y misticismo, por eso detrás del origen del agave y el pulque tenemos una interesante historia que contar. La historia más contada es la que relaciona a la diosa Mayahuel como responsable del descubrimiento de las plantas de agave. Existen diversas variaciones de esta historia, la que plasma de manera más completa los orígenes del tequila y el pulque es el escrito *Histoire de Mechiqwe*. La historia cuenta que los mexicanos eran castigados con pocas horas de sol al día por la diosa Tzitzimime. Quetzalcóatl, consideró que esto era injusto y fue en busca de Tzitzimime al cielo. Sin embargo, no la encontró, pero encontró a una de sus nietas,

una bella princesa llamada Mayahuel a quien tenía encerrada y la convenció de escapar a la tierra. Quetzalcóatl y Mayahuel se enamoraron y decidieron convertirse en plantas para poder vivir su amor sin temor a la diosa Tzitzimime. Tzitzimime los encontró y destrozó a Mayahuel en muchos pedazos. Quetzalcóatl con ayuda de algunos de sus amigos dioses recuperaron los restos de la princesa, los enterraron y de ahí nació una planta a la que llamaron *metl*, del cual elaboraron una bebida embriagante [2].

Desde el punto de vista de la evolución, el *Agave* es mucho más antiguo pues tiene su origen hace más de 10 millones de años, cuenta con cerca de 300 especies, muchas de ellas presentes en México. La mayoría de estas plantas sólo florecen una vez en la vida y después mueren, a esto se le denomina monocárpico. De las cerca de 300 especies de agaves muy pocas son utilizadas para obtener el aguamiel con el cual se produce el pulque, entre ellos se encuentran *Agave atrovirens*, *Agave salmiana*, *Agave americana* y *Agave mapisaga*. El pulque podría ser la bebida alcohólica más antigua. Los aztecas lo denominaron *metoctli* (del náhuatl *metl* = agave o maguey y *octli* = vino) vino de agave, también *iztacoctli* (*izac* = blanco y *octli* = vino) vino blanco o *poliuhquioctli* (*poliuhqui* = estropeado o podrido y *octli* = vino) vino podrido o desagradable. Los aztecas establecieron las reglas para el consumo y el uso



Figura 1. Planta de agave pulquero (Foto tomada en el municipio de Nicolás Bravo, estado de Puebla).

religioso del pulque [1].

Tras la conquista del imperio Azteca, el pulque perdió mucha importancia religiosa y prevaleció como una bebida popular; en la sociedad de la Nueva España hubo un rápido aumento de la producción y comercialización del pulque, teniendo un mayor crecimiento a finales del siglo XVIII, desarrollándose así las haciendas pulqueras. Sin embargo, el pulque ha pasado por épocas difíciles. Después del movimiento revolucionario se tuvo un mayor declive de la industria pulquera, debido a la inestabilidad social y la introducción de compañías cerveceras, así como de una fuerte campaña de desprestigio al pulque. En la actualidad, la

mayor producción de plantaciones de agave pulquero se encuentra en los estados de Hidalgo, México, Tlaxcala y Puebla. Además, también se pueden encontrar en menor cantidad en los estados de Ciudad de México, Coahuila, Oaxaca, Veracruz y Morelos [1,3].

En el año 2000 se consideraba que el pulque estaba desapareciendo del mercado, sólo se podía encontrar en comunidades muy específicas y en algunos estados de la república en pulquerías frecuentadas por consumidores de recursos económicos bajos. En el 2013, se presentó el segundo mayor pico de producción de pulque (504 millones de litros), después de 1987 (550 millones de litros); pero, en el 2019 hubo una disminución considerable [3]. A pesar de esto, el pulque ha resurgido, es más conocido, consumido y valorado. Su consumo actual, se ha incrementado en jóvenes, debido a que están mejor informados de las propiedades nutricionales y funcionales de la bebida y son un grupo que está interesado en el consumo de alimentos tradicionales (se les llama neo-consumidores). Los neo-consumidores invitan a su círculo cercano a probar estos alimentos tradicionales y así es como ha crecido el consumo de pulque. Cabe mencionar que en el 2010 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) incluyó al pulque en la Lista del Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad. Esto ha contribuido al aumento de producción y consumo del pulque [4].

Los neo-consumidores invitan a su círculo cercano a probar estos alimentos tradicionales y así es como ha crecido el consumo de pulque. Cabe mencionar que en el 2010 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) incluyó al pulque en la Lista del Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad. Esto ha contribuido al aumento de producción y consumo del pulque [4].

Proceso de producción artesanal

En la actualidad, la mayor producción de pulque se realiza de manera artesanal, debido a que los diferentes intentos de industrialización no han sido del agrado del consumidor. El aguamiel se obtiene de agaves maduros que tienen entre 7 y 10 años y que están a punto de



Figura 2. Diagrama del proceso de producción de pulque.

producir su fruto (quiote). El tiempo de maduración de los agaves varía por diversos factores como son la especie, las condiciones del clima y el suelo del lugar. Los cambios de aguamiel a pulque se deben a la fermentación de los azúcares que inicia de manera muy lenta desde la planta, por acción de diversos microorganismos como bacterias lácticas (ej. *Lactocaseibacillus paracasei*) y levaduras (ej. *Saccharomyces cerevisiae*) que se encuentran en el ambiente y se alojan en el cajete. El proceso de producción comprende cuatro pasos principalmente: 1) castración o capado del maguey, 2) obtención del aguamiel, 3) fermentación del aguamiel (ácida, alcohólica y viscosa), y 4) obtención de pulque el cual suele tener alrededor de 5% de alcohol (Figura 2) [1,3].

El proceso de castración o capado consiste en quitar las hojas de la parte central de la planta de maguey, para crear un pozo o cavidad al que se denomina cajete, el cual se cubre con hojas de la propia planta o piedras para evitar su interacción con el ambiente. Una vez realizada la castración del maguey, se raspa la cavidad para crear un flujo de savia de la planta llamado aguamiel. El aguamiel almacenado en la cavidad se recolecta dos veces al día. El aguamiel se coloca en tinacos en donde se le agrega un pulque maduro (pulque muy fermentado) de buena calidad para ayudar a la fermentación. Debido a los microorganismos que contiene, esta fermentación se lleva a cabo en 12 horas aproximadamente, obteniendo en este tiempo un pulque con características organolépticas agradables al consumidor. En la fermentación

influyen la temperatura del ambiente y los microorganismos presentes. Una vez obtenido el pulque, se retira un cierto volumen, mismo que se sustituye por aguamiel fresco. Esta sustitución se realiza periódicamente cada 12 h para tener una producción constante de pulque [1,3].

Beneficios

Tradicionalmente el pulque era consumido, en cierta medida debido a su contenido alcohólico, para el tratamiento de diversas enfermedades y además se ha relacionado con beneficios nutricionales desde tiempos prehispánicos. Actualmente, se conocen diversos estudios de los beneficios del pulque. En 1946 se realizó el primer estudio del aporte nutricional del pulque, el cual fue hecho en una comunidad indígena otomí en el estado de Hidalgo y se reportó que el consumo diario de pulque aporta calorías, proteínas, vitaminas (principalmente vitamina C), calcio y hierro [1]. Por lo tanto, para esta comunidad representaba su segundo alimento más importante después de la tortilla. Otros estudios corroboraron los beneficios nutricionales de esta bebida, además concluyeron que en poblaciones donde habitualmente se consume, representa una importante fuente de hierro, vitamina C y vitamina B, después de la tortilla y las legumbres. Popularmente, se asociaba al pulque con una mayor y mejor producción de leche en mujeres lactantes [1]. Un estudio en mujeres embarazadas determinó que además de ayudar a la madre con nutrientes para el proceso de embarazo, el pulque tuvo un efecto benéfico en el desarrollo del bebé ya que los recién nacidos eran más robustos. Sin

embargo, la ingesta temprana de pulque pudo causar que en la etapa infantil tuvieran un peor desarrollo en cuanto a altura y peso [1].

En la medicina tradicional se utilizaba el pulque en el tratamiento de enfermedades gastrointestinales, como por ejemplo diarrea y gastritis. En la actualidad, estos beneficios se pueden explicar por la presencia de un grupo de microorganismos específicos, las bacterias ácido lácticas (BAL). El consumo regular de algunas bacterias lácticas, denominadas probióticos, pueden generar efectos benéficos en nuestra salud. Del pulque se han estudiado varias bacterias de este tipo, su principal beneficio es la eliminación de bacterias dañinas (patógenos) y con esto se puede explicar su efecto para reducir la incidencia de enfermedades infecciosas y regular la microbiota intestinal [1,3]. Además, algunas BAL del pulque podrían disminuir considerablemente los niveles de colesterol en la sangre y contrarrestar la intolerancia a la lactosa (azúcar que se encuentra en la leche y productos lácteos) [5].

Conclusión

El pulque forma parte de la identidad y tradición de muchos pueblos indígenas. Durante años fue consumido como parte de rituales religiosos y ceremoniales, por lo que incluso fue considerada una bebida sagrada. En los últimos años el pulque se percibe como una bebida que prácticamente ha desaparecido del mercado urbano. Sin embargo, los estudios que se han realizado a la bebida, tanto por sus beneficios nutricionales y funcionales como por la presencia de la gran diversidad de microorganismos con potencial probiótico ha sido un gran apoyo para los productores, porque esto ha llamado la atención de una juventud interesada en rescatar los productos tradicionales. Si tienes la oportunidad de conocer una pulquería o una comunidad productora de pulque, no dudes en probarlo, esto contribuye significativamente a seguir rescatando una bebida considerada ícono gastronómico de México y además mejoras tu salud intestinal, y recuerda que todas las bebidas alcohólicas se consumen con medida, porque podrían ocasionar problemas de salud. **iBIO**

Referencias

- [1] Escalante, A., López Soto, D.R., Velázquez Gutiérrez, J.E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F. y López-Munquía, A. (2016). Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological, and technical aspects. *Frontiers in Microbiology*. 7:1026. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>
- [2] Gonçalves de Lima, O. (1956). *El maguey y el Pulque en los Códices Mexicanos*. Fondo de Cultura Económica.
- [3] Valdivieso Solís, D.G., Vargas Escamilla, C.A., Mondragón Contreras, N., Galván Valle, G.A., Gilés-Gómez, M., Bolívar, F. y Escalante, A. (2021). Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:678168. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>
- [4] Rojas-Rivas, E., Viesca-González, F.C., Favila-Cisneros, H.J. y Cuffia, F. (2019). Consumers' perception of a traditional fermented beverage in Central Mexico: An exploratory study with the case of pulque. *British Food Journal*. 122 708-721. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2019-0317>
- [5] Ruiz-Ramírez, Y., Valadez-Blanco, R., Calderón-García, C., Chikindas, M.L. y Ponce-Alquicira, E. (2023). Probiotic and functional potential of lactic acid bacteria isolated from pulque and evaluation of their safety for food applications. *Front. Microbiol.* 14:1241581. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1241581>



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 bachillerato, 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?

1. **Carta de presentación**
 - i. **Título del artículo en español e inglés** (Máximo 12 palabras).
 - ii. **Autor(es)**: Nombres y apellidos de cada autor acompañados de su afiliación institucional. Máximo se aceptan 3 autores para secciones largas, y dos para secciones cortas. Incluir el correo electrónico del autor de correspondencia.
 - iii. **Resumen en español e inglés**: Máximo 100 palabras cada uno.
 - iv. **Palabras clave en español e inglés** (3 palabras clave que describan el contenido del manuscrito).
2. **Carta de originalidad**
3. **Artículo en formato Word**
 - i. **Título del artículo en español e inglés** (Máximo 12 palabras).
 - ii. **Resumen en español e inglés**: Máximo 100 palabras cada uno.
 - iii. **Palabras clave en español e inglés** (3 palabras clave que describan el contenido del manuscrito).
 - iv. **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.
 - v. **Por lo menos 2 imágenes citadas en el texto**: propias, sin derechos de autor o referenciadas, que apoyen al entendimiento de su manuscrito. Deben estar en formato PNG, JPG o JPEG, mínimo de 300 ppi y requieren estar acompañadas de su correspondiente pie de figura.
 - vi. **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>



