

REVISTA DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS Y BIOTECNOLOGÍA

Revista de Divulgación Científica de la Facultad de Agronomía - UANL



Volumen 02
Número 01
Enero - Abril
2025

Una publicación de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Santos Guzmán López
Rector

M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez
Director de la Facultad de Agronomía

M.C. Jesús Andrés Pedroza Flores
Subdirector Académico

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto
Subdirectora de Posgrado e Investigación

Dr. Sergio Eduardo Bernal García
Subdirector Administrativo

M.C. Nora Estela García Treviño
Subdirectora de Vinculación y Servicio Social

M.C. Eduardo Alejandro García Zambrano
Subdirector de Planeación y Mejora Continua

Directora Editorial: Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto

Editores en Jefe: Dr. Iosvany López Sandin / M.C. Miranda Abigail Ortiz Alonso

Editora Técnica: M.A. Blanca Idolisa Contreras Cantú

Revista de Ciencias Agroalimentarias y Biotecnología, Volumen 2, Número 1 (2025): Enero - Abril 2025, Revista de Divulgación Científica de la Facultad de Agronomía de la UANL es una publicación trimestral, editada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Agronomía. Directora Editorial: Dra. Guadalupe Gutiérrez Soto. Domicilio de la publicación: Francisco Villa s/n, Ex Hacienda "El Canadá", Cd. General Escobedo, Nuevo León, México, C.P. 66050. Teléfono: +52 (81) 1340 4399. Responsable de esta edición: Dra. Guadalupe Gutiérrez Soto. Reserva de derechos al uso exclusivo: en trámite. eISSN: en trámite. Fecha de última modificación: 2025-01-31.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores.

Prohibida su reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido editorial de este número.

Publicado en México.
Todos los derechos reservados.

revista.cab@uanl.mx

PRESENTACIÓN

La Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León se complace en presentar el primer número del Volumen 2 de la Revista de Ciencias Agroalimentarias y Biotecnología. En esta edición, ponemos a disposición del público una selección de artículos de divulgación científica que abordan temas de relevancia en los sectores agroalimentario y biotecnológico. Entre los temas abordados, se encuentra el uso del control biológico como una herramienta sustentable para el manejo de plagas agrícolas, así como el significado del sello TIF en la garantía de higiene e inocuidad en la industria alimentaria de México. También se presenta un análisis histórico sobre la gestión y preservación del agua, desde las civilizaciones antiguas hasta los sistemas modernos.

Otros artículos destacan la revolución biotecnológica con el nacimiento de Dolly, la oveja clonada, y la edición genética en humanos, incluyendo el caso de las gemelas inmunes al VIH y las innovaciones recientes en primates como ANDi. Finalmente, se presentan avances en la lucha contra el dengue y las estrategias actuales para mitigar su impacto. Invitamos al público en general, así como a estudiantes, académicos e investigadores, a consultar esta edición. La divulgación científica es clave para la comprensión de los desafíos y oportunidades en los sectores agroalimentario y biotecnológico. Accede a la revista a través de nuestra plataforma digital y síguenos en nuestras redes sociales para estar al tanto de futuras publicaciones.

Dra. Guadalupe Gutiérrez Soto
Directora Editorial



CONTENIDO

Pág.

1 Entre aromas y sabores: Los secretos del buen café

9 El control biológico una herramienta en el manejo de plagas agrícolas

16 Un breve desarrollo histórico del concepto de entropía

22 Sello TIF: sinónimo de higiene e inocuidad en la Industria Alimentaria en México

27 El Nacimiento de Dolly: Revolución en la Biotecnología

29 Edición Genética en Humanos: El Caso de las Gemelas Inmunes al VIH

33 Edición Genética ANDi: Innovaciones Recientes y Perspectivas Futuras

36 Enfrentando al Dengue: De la Amenaza a la Acción

ENTRE AROMAS Y SABORES: LOS SECRETOS DEL BUEN CAFÉ



Valentina García-Méndez¹ y Víctor Manuel Almaraz-Valle²

¹<https://orcid.org/0009-0004-5265-4265> Universidad Autónoma de Chiapas, Licenciatura en Caficultura. Carretera Jaltenango a Francisco I. Madero Km. 2.6 s/n, Ángel Albino Corzo, Chiapas, México C.P. 30370.

²<https://orcid.org/0000-0002-3673-8002> Colegio de Postgraduados, Posgrado en Fitosanidad-Entomología y Acarología, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56264, Estado de México.

El amanecer, acompañado por el aroma inconfundible del café recién hecho, es para muchos el inicio de un día perfecto. Ese primer sorbo, a la vez amargo y sutilmente ácido, nos envuelve en una sensación de calma y confort que nos reconecta con algo más profundo. Detrás de este ritual matutino, hay una historia fascinante que nos transporta a las selvas tropicales de Etiopía, África, en las provincias de Kaffa e Illubabor, donde *Coffea arabica* crecía de manera silvestre mucho antes de que los humanos se enamoraran de sus frutos. Desde allí, este humilde grano viajó a Yemen, y más tarde se distribuyó por Europa en el siglo XVI. Con el tiempo, su comercio floreció y llegó a Indonesia, donde Java se convirtió en un epicentro de la industria cafetera mundial (Meyer, 1965).

Historia del café en México: ruta de ingreso y dispersión en el territorio mexicano

El aprecio por el café, junto con la capacidad para cultivarlo y distribuirlo, impulsó que desde el siglo XVII la planta del cafeto fuera llevada a las colonias francesas, inglesas, holandesas, portuguesas y españolas en América. La propagación de los cultivos alcanzó su mayor auge durante este mismo siglo, cuando ya se habían desarrollado los conocimientos necesarios sobre el tipo de suelo, clima y prácticas agrícolas para su siembra, cuidado, cosecha, procesamiento, empaquetado y distribución (SAGARPA, 2015).

A la Nueva España llegaron las primeras plantas de café a finales del siglo XVIII, provenientes de Cuba, y fueron sembradas en las fincas de Córdoba, Veracruz. Aunque no se conoce con exactitud el año de su llegada, algunos registros la sitúan en 1740, mientras que otras fuentes sugieren que esto sucedió entre 1780, 1790 y 1796, e incluso hay quienes plantean que esto ocurrió entre 1800 y 1804. La mayoría de los relatos coinciden en que fue Juan Antonio Gómez de Guevara, Conde de Oñate, quien introdujo el café en México a través de semillas obtenidas en La Habana, Cuba, para cultivarlas en su Hacienda de Guadalupe, situada cerca de Córdoba, Veracruz (Ruiz, 1896; SAGARPA, 2015).

Posteriormente, otra remesa de cafetos llegó desde la isla Mauricio, en África. El general José Mariano Michelena, quien fuera teniente del Regimiento de Infantería de la Corona Española y más tarde plenipotenciario de Guadalupe Victoria, trajo plantas de cafeto desde el puerto de Moka. Estas plantas fueron aclimatadas en su hacienda "La Patrona", ubicada en Ziracuaretiro, cerca de Uruapan, Mi-

choacán. Al igual que en el caso anterior, las fechas varían: algunos indican que ocurrió en 1823, mientras que otros historiadores sugieren que esto se suscitó en 1838. Este acontecimiento marcó el inicio de la difusión del cultivo en los estados de Colima, Jalisco y Nayarit (Ruiz, 1896).

La tercera ruta de introducción del café en México provino de Guatemala. En 1846, el italiano Jerónimo Manchinelli instaló una plantación experimental de 1,500 cafetos traídos desde San Pablo de Guatemala a su finca "La Chácara", ubicada en Tuxtla Chico, Chiapas. Posteriormente, en 1871, Carlos Gris, originario de Zacatecas, destinó su finca "Majahual", en la zona cacaotera de Cacahoatán, Chiapas, al cultivo de café. En los primeros diez años sembró 100 cafetos, lo que marcó el inicio de la producción cafetalera en la actual región del Soconusco. A este esfuerzo se sumaron misioneros españoles que también promovieron el cultivo del café (Instituto del Café de Chiapas [INCAFECH], 2022; SAGARPA, 2015).

Desarrollo y consolidación del cultivo de café en México

Con el tiempo, las zonas de cultivo de café en México comenzaron a consolidarse. Los estados donde este cultivo tuvo mayor desarrollo fueron Veracruz, Chiapas y Oaxaca. En otras entidades, como Puebla, Tabasco, Nayarit, Hidalgo, Michoacán, Colima, Jalisco y Guerrero, el desarrollo fue menor (SAGARPA, 2015).

Entre 1980 y 2013, el 61% de la producción de café en México se concentró en dos estados: Chiapas, que aportó el 37%, y Veracruz, con el 24% (CEDRSSA, 2014; SAGARPA, 2015). Actualmente, los principales estados cafetaleros son Chiapas, Veracruz y Puebla, que juntos representan el 80% de la producción nacional. Las tierras cafetaleras de estos estados comparten características como altitud (entre 1,000 y 1,300 metros sobre el nivel del mar) y un clima húmedo durante todo el año. Chiapas es el principal productor, contribuyendo con el 41% del total nacional. Le sigue Veracruz, con el 24%, y Puebla, con el 15.3% (INCAFECH, 2022; SAGARPA, 2015).

Producción de café en México: sistemas de cultivo y su importancia ecológica y socioeconómica

La producción de café en México se concentra en zonas biogeográficas y ecológicas de gran relevancia para el cultivo, donde confluyen componentes tropicales y templados

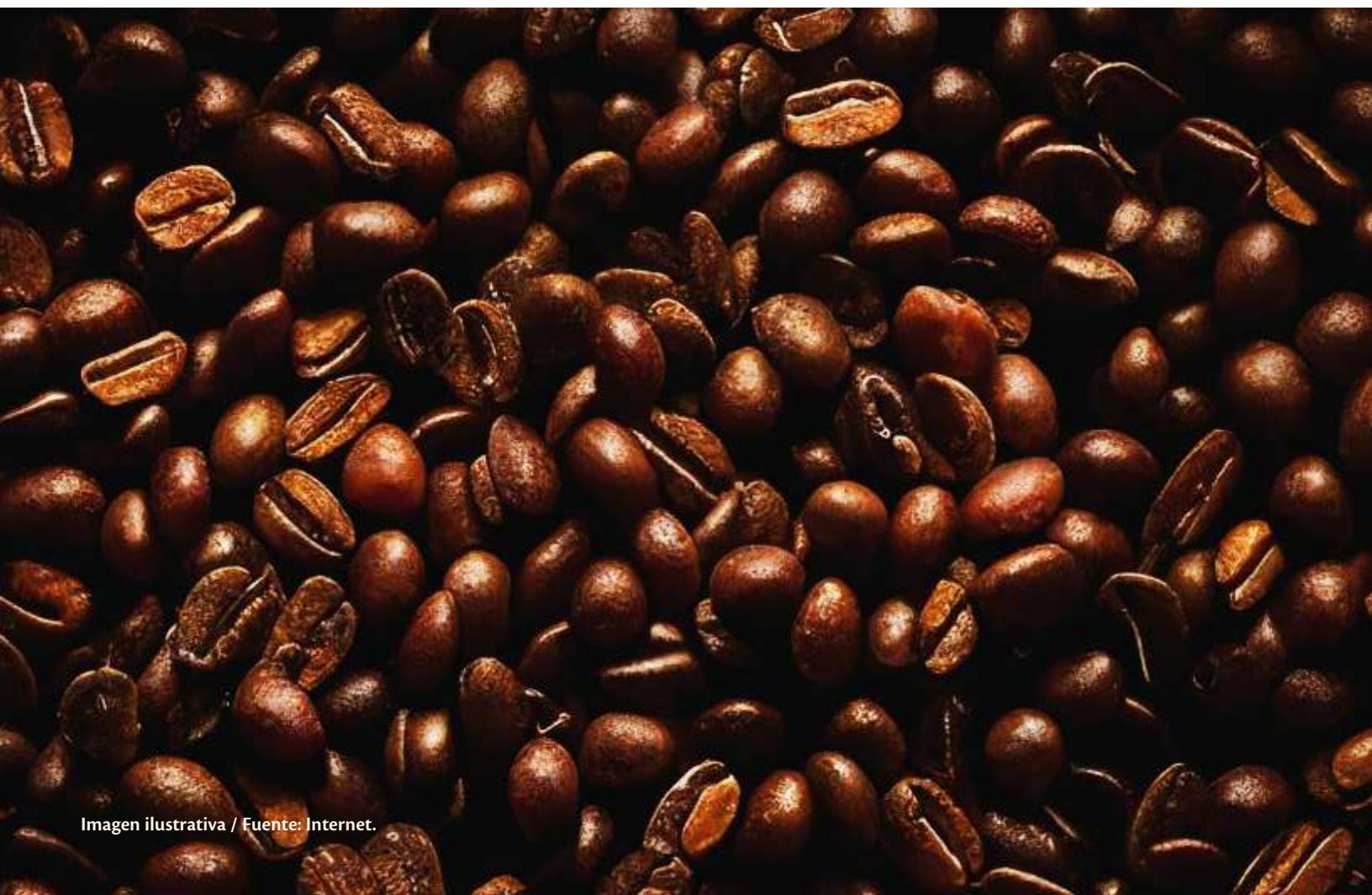
que favorecen su desarrollo (Villavicencio-Enríquez, 2013). Aproximadamente el 90 % de la superficie destinada a la actividad cafetalera en el país utiliza árboles nativos e introducidos con fines económicos ya sea frutales o maderables, sin embargo, la actividad que cumplen dentro del cafetal es principalmente proporcionar sombra al cafeto (Ruiz-García *et al.*, 2020). De esta superficie, entre el 60 % y 70 % se encuentra bajo sistemas de manejo tradicional y rústico (Villavicencio-Enríquez, 2013).

Chiapas, Veracruz y Oaxaca destacan como los principales estados productores de café bajo sombra. Estos sistemas agroforestales no solo representan ejes clave del desarrollo comunitario y regional, sino que también mantienen cadenas productivas, generan divisas y empleos, conservan la biodiversidad y proporcionan servicios ecosistémicos a la sociedad. Sin embargo, los sistemas de producción deben integrar aspectos sociales, económicos y ambientales para lograr un funcionamiento óptimo (Ruiz-García *et al.*, 2020).

Sistemas de producción de café en México

En México existen cinco sistemas principales de producción de café, clasificados según el nivel de manejo y la com-

plejidad estructural y vegetacional (Moguel y Toledo, 1999; Escamilla & Díaz, 2002). El sistema rústico tradicional, o “de montaña”, sustituye las plantas del suelo de los bosques tropicales o templados por arbustos de café, eliminando únicamente los estratos inferiores del bosque y conservando la cubierta arbórea original. El policultivo tradicional representa una etapa más avanzada de manipulación del ecosistema forestal, donde el café se cultiva junto a diferentes especies nativas e introducidas, formando un sistema complejo con alta diversidad vegetacional y arquitectónica (Villavicencio-Enríquez, 2013). Por su parte, el policultivo comercial elimina la plantación original para introducir árboles de sombra seleccionados, generalmente no nativos, y combina el cultivo de café con otros productos como cítricos y bananos, orientando la producción al mercado. El monocultivo sombreado utiliza exclusivamente árboles leguminosos, principalmente del género *Inga*, para dar sombra a los cafetos, lo que genera un cafetal monoespecífico que depende del uso intensivo de agroquímicos para su manejo y está orientado exclusivamente al mercado. Finalmente, el monocultivo sin sombra es el sistema más intensivo, donde los cafetales se cultivan a pleno sol sin ningún tipo de sombra, lo que requiere altos insumos de fertilizantes, agroquímicos, maquinaria y mano de obra, aquí se ofrecen los mayores rendimientos, pero con un impacto ambiental significativo (Ruiz-García *et al.*, 2020).



Las especies de café: más allá de *Coffea arabica*

Aunque *Coffea arabica* es la variedad más conocida (figura 1), no es la única que llena nuestras tazas. También existe *Coffea canephora*, que aporta un perfil de sabor más fuerte y menos ácido. Hoy en día, los caficultores enfrentan múltiples desafíos, como las plagas, enfermedades y el cambio climático, que amenazan la producción de café. Esto ha llevado a que los científicos centren su atención en especies menos conocidas, como *Coffea stenophylla* y *Coffea affinis*, que presentan una gran resistencia a los problemas fitosanitarios y provienen de regiones más remotas de África (Davis *et al.*, 2020).



Figura 1. Café árabe.

¿Qué hace que un café sea de calidad?

Hablar del sabor del café es, sin duda, entrar en un terreno personal. Cada paladar encuentra en esta bebida algo único. Dicha calidad depende de numerosos factores, entre los cuales se destacan: la especie, la variedad cultivada, las condiciones ambientales, las prácticas agro-nómicas del cultivo, el método de secado empleado (figura 2), las condiciones de almacenamiento del grano, el procesamiento industrial y la preparación de la bebida. Los factores genéticos que influyen en la calidad del café; tamaño, forma, color y composición química son características relacionadas con su genotipo (Reis *et al.*, 2021).



Figura 2. Secado del grano despulpado de café en camas.

Sin embargo, hay ciertos estándares universales que nos ayudan a diferenciar un buen café de uno excepcional. Según la competencia “La Taza de la Excelencia”, el café de alta calidad no solo debe ser consistente, sino que debe sorprender por su aroma y sabor. El aroma, con su compleja mezcla de notas florales, frutales o de nuez, es uno de los primeros aspectos que nos atrapa. Este aroma puede variar dependiendo de la planta, la región de cultivo e incluso el grado de tueste. A medida que lo bebemos, el sabor se despliega, moldeado

en gran medida por el tueste del grano, liberando compuestos que nos permiten saborear su dulzura, acidez o amargor, y llevando nuestro paladar en un viaje sensorial que puede ser tan variado como los granos mismos (Regalado, 2016).

La textura del café, esa sensación de peso que sentimos en la boca, es otro elemento crucial que define la experiencia. Puede ser ligera y suave o densa y cremosa, dependiendo no solo de la especie de café, sino también del método de preparación. La composición química de la especie *C. arabica* tiene las características o atributos que la destacan; aroma fuerte, bastante acidez, cuerpo liviano, poco amargo y poca cafeína. Difiere de *C. canephora*, que es de baja calidad ya que tiene aroma débil, poca acidez, cuerpo fuerte, muy amargo y mucha cafeína. La acidez también juega un papel importante: un café con una acidez brillante y equilibrada da una sensación de frescura que lo distingue de otros. Por otro lado, el amargor, aunque presente, no debe ser dominante, sino un elemento que complementa el resto de los sabores (Reis *et al.*, 2021).

El impacto del origen y el tueste

El proceso de tostado es casi un arte en sí mismo, ya que tiene un impacto crucial en el sabor y el aroma final del café. Un tueste ligero puede preservar las notas frutales y florales, mientras que un tueste más oscuro resalta sabores intensos como el chocolate, el caramelo y las especias (Ruosi *et al.*, 2012). Cada vez que un grano es tostado, los sabores ocultos en su interior se liberan, transformando una simple semilla en una experiencia inolvidable.

El lugar donde se cultiva el café también añade una capa de complejidad. Etiopía, el país donde nació esta bebida, sigue siendo uno de los mayores productores de café de alta calidad. Las regiones como Yirgacheffe son famosas por producir granos con un perfil floral, especiado y afrutado. Por otro lado, Colombia, con su clima ideal en los Andes, es reconocida por sus cafés suaves, con una acidez brillante y un cuerpo medio que resulta equilibrado para quienes buscan un sabor refinado. Jamaica, específicamente las Montañas Azules, nos ofrece un café con baja acidez y un sabor afrutado, mientras que Brasil, el mayor productor mundial, destaca por sus notas a nuez y chocolate, ideales para aquellos que prefieren un sabor más suave y menos ácido. Indonesia, con su clima único y técnicas de procesamiento, produce cafés con cuerpo pesado, baja acidez y sabores ahumados, lo que los hace inconfundibles en el mercado global (Teles y Behrens, 2020).



Métodos de preparación y su influencia en el sabor

Las variables tales como método de preparación, equipo, relación del café y agua, temperatura, tiempo de preparación y calidad de agua; siempre juegan un papel importante en la producción con la mejor calidad de sabor. Pero el sabor del café no se define solo por el lugar donde crece, sino también por cómo se prepara. Desde el fuerte y cremoso espresso italiano (figura 3) hasta el suave y refrescante cold brew japonés, cada método de preparación resalta diferentes aspectos del grano. El espresso, con su intensa concentración y su característica capa de crema, ofrece un sabor robusto y una dosis de cafeína que despierta hasta al más dormido. El cold brew, en cambio, con su larga infusión en agua fría, produce un café suave y dulce, perfecto para los días calurosos (Puerta-Quintero, 2022).



Figura 3. Preparación de un espresso italiano. Créditos: Oscar Esaú Quezada.

Condiciones de preparación

La calidad de la bebida del café depende también de las condiciones de preparación, cada uno de los compuestos químicos del café tostado aporta de diversa manera al aroma, dulzor, amargor, acidez y astringencia de la bebida y se extraen en diferentes porciones, según el método y las condiciones de preparación. Por otro lado, el sabor del café variara según la cantidad de agua utilizada. Sin embargo, esta relación depende de la calidad del café, de la cafetera y del gusto del consumidor. Si le preguntaras a un barista la relación estándar de preparación para un café por goteo, ellos dirían 1:16. Esto significa que, por cada gramo de café molido, ellos agregan 16 gramos de agua. La mayoría de las relaciones de preparación de café están entre 1:15 y 1:18. Sin embargo, debido a que el espresso se extrae más rápido y eficientemente, por lo general la relación es cerca de 1:2 (Puerta-Quintero, 2022).

Consumo de café y beneficios para la salud

Las personas toman café porque les gusta, en lugar de una consiente apreciación del efecto en el desempeño, el hábito de tomar café sobrevive y prospera, impulsado sin duda por el beneficio a la salud, temperamento y estimulación mental que brinda al consumidor. El café ejerce efectos benéficos si se consume dentro del ciclo de vigilancia del cerebro humano; la primera taza debe tomarse en la primer hora después de despertarse, la segunda a media mañana (10: 00 horas), la tercera después de la comida (12:30-13:30 horas) y la cuarta puede ser útil hacia las 15:00 horas. La dosis máxima diaria de café para un apersona adulta y sana es de medio litro o sea 4 tazas de 125 mililitros dividido en intervalos de por lo menos dos horas (Regalado, 2016).

Más allá del placer sensorial que nos proporciona, el café también ofrece numerosos beneficios para la salud. Tomar café en cantidades moderadas no solo mejora nuestra concentración y estado de alerta, sino que también puede reducir el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2. Esto se debe a que los ácidos clorogénicos presentes en el café mejoran la sensibilidad a la insulina y ayudan a regular los niveles de glucosa en la sangre (Bidel y Tuomilehto, 2013). El café posee en mayor cantidad los ácidos clorogénicos (7-9%) seguido de la cafeína (1,25%) (Regalado, 2016). Además, el café es una rica fuente de antioxidantes, que combaten el estrés oxidativo y ayudan a proteger nuestras células (Gökçen y Sanlier, 2019).

El corazón también se beneficia del consumo moderado de café. Diferentes estudios han mostrado que esta bebida está asociada a una menor incidencia de enfermedades cardiovasculares, reduciendo el riesgo de insuficiencia cardíaca y accidentes cerebrovasculares (O'Keefe et al., 2013). Además, el café tiene efectos protectores sobre el hígado, ayudando a prevenir enfermedades como la cirrosis y el cáncer de hígado. Y en el comportamiento, el café es un estimulante debido a su contenido de cafeína. Así mismo se destaca la importancia del consumo diario de este aromático: hasta 10 años 200 mililitros; 10 a 15 años 350 mililitros; 15 a 20 años 450 mililitros; 20 a 60 años 600 mililitros y más de 60 años 300 mililitros (Regalado, 2016).

Efectos negativos del consumo excesivo

Sin embargo, como todo en la vida, el café también tiene sus desventajas si se consume en exceso. Beber más de cuatro tazas al día puede aumentar la presión arterial en personas sensibles, lo que puede conducir a hipertensión. Además, el consumo excesivo de café no filtrado o hervido puede incrementar los niveles de homocisteína, un compuesto relacionado con el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Hu et al., 2007). El abuso de esta bebida también puede alterar los patrones de sueño, causar ansiedad, temblores e incluso malestar gastrointestinal.

Conclusión

A pesar de estos posibles efectos negativos, el café, cuando se consume con moderación, ofrece más beneficios que riesgos. Ya sea que lo prefieras fuerte y concentrado o suave y dulce, cada taza de café es una oportunidad para disfrutar de su riqueza de sabores, mientras disfrutas de sus múltiples beneficios para la salud. Al final, lo más importante es recordar que la clave está en el equilibrio: disfrutarlo, pero sin excederse y recordar que el consumo moderado es perfectamente seguro y de ninguna manera representa un riesgo para la salud.

Referencias

Bidel, S., & Tuomilehto, J. (2013). The Emerging Health Benefits of Coffee with an Emphasis on Type 2 Diabetes and Cardiovascular Disease. *European endocrinology*, 92, 99-106. <https://doi.org/10.17925/EE.2013.09.02.99>.

Davis, A., Gargiulo, R., Fay, M., Sarmu, D., & Haggar, J. (2020). Lost and Found: Coffea stenophylla and C. affinis, the Forgotten Coffee Crop Species of West Africa. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00616>.

Escamilla, P. E., y Díaz, C. (2002). Sistemas de cultivo de café en México. México: CRUO-CENIDERCAFE, Universidad Autónoma Chapingo.

Gökçen, B. B., & Sanlier, N. (2019). Coffee consumption and disease correlations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(2), 336-348. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1369391>

Hu, G., Jousilahti, P., Nissinen, A., Bidel, S., Antikainen, R., & Tuomilehto, J. (2007). Coffee consumption and the incidence of antihypertensive drug treatment in Finnish men and women. *The American journal of clinical nutrition*, 86 2, 457-64. <https://doi.org/10.1093/AJCN/86.2.457>.

Instituto del Café de Chiapas. (2022). Programa Institucional: participación organizada de los integrantes en la cadena productiva del café, bajo los criterios de eficiencia administrativa. Disponible en https://incafech.gob.mx/assets/media/documentos/planeacion/Programa%20Institucional%20INCAFECH%202019-2024_actualizado_%20Publicaci%C3%B3n%20Oficial.pdf

Meyer, F. (1965). Notes on wild *coffea arabica* from southwestern ethiopia, with some historical considerations. *Economic Botany*, 19, 136-151. <https://doi.org/10.1007/BF02862825>.

Moguel, P., y Toledo, V. (1999). Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology*, 13(1), 11-21.

O'Keefe, J., Bhatti, S., Patil, H., DiNicolantonio, J., Lucan, S., & Lavie, C. (2013). Effects of habitual coffee consumption on cardiometabolic disease, cardiovascular health, and all-cause mortality. *Journal of the American College of Cardiology*, 62 12, 1043-1051. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.06.035>.

Puerta-Quintero, 2022. La calidad de la bebida del café depende tambiende las condiciones de preparación. Café ensoñación. 1-9. <https://cafegourmetensonacion.com>

Regalado, O. (2016). Efectos fisiológicos en el consumo de café. ¿Qué es la Calidad en el café?. PP. 9-309. Universidad Autónoma de Chapingo

Reis, N. D., Valadares, G., Costa, E. A., & Júnior, L. G. C. (2021). Percepção dos consumidores da Cafeteria Escola Cafetal-UFLA: uma análise sensorial de diferentes tipos de torra de café especial. *Revista Expectativa*. <https://doi.org/10.48075/revex.v20i1.23830>

Ruiz, E. (1896). *Historia de la guerra de intervención en Michoacán*. Ofic. Tip. de la Secretaría de Fomento. Recuperado de https://mexicana.cultura.gob.mx/es/repositorio/detalleid=_suri:DGB:TransObject:5bce-59c77a8a0222ef15f0e6

Ruiz-García, P., Gómez-Díaz, J. D., Valdés-Velarde, E., y Monterroso-Rivas, A. I. (2020). Sistemas agroforestales de café como alternativa de producción sustentable para pequeños productores de México. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma Indígena de México*, 16(4), 127–158. <https://doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.07.pr>

Ruosi, M., Cordero, C., Cagliero, C., Rubiolo, P., Bicchi, C., Sgorbini, B., & Liberto, E. (2012). A further tool to monitor the coffee roasting process: aroma composition and chemical indices. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60 45, 11283-91. <https://doi.org/10.1021/jf3031716>.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). El café de México: origen y destino (1^a ed.). Render Farm Studios. Disponible en www.sagarpa.gob.mx

Villavicencio-Enríquez, L. (2013). Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1), 67–80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62926254005>



EL CONTROL BIOLÓGICO

UNA HERRAMIENTA EN EL MANEJO DE PLAGAS AGRÍCOLAS



Víctor Manuel Almaraz-Valle¹ y Daniel Ramírez Cerón¹

¹Colegio de Postgraduados, Posgrado en
Fitosanidad, Entomología y Acarología, Montecillo,
56264 Texcoco, Estado de México, México.

Daniel Ramírez Cerón:

<https://orcid.org/0000-0001-9754-1126>

Víctor Manuel Almaraz Valle:

<https://orcid.org/0000-0002-3673-8002>

Desde la aparición de la agricultura el ser humano se ha enfrentado a uno de sus mayores desafíos “la lucha constante contra organismos plaga”. Estas han causado pérdidas devastadoras en los cultivos, y durante siglos, los métodos de control se han basado en prácticas rudimentarias, aplicación de azufres e insecticidas minerales (Doutt y Smith, 1971). Con la aparición de los insecticidas organosintéticos, el control de plagas se volvió más eficiente, no obstante, si no se manejan con cuidado estos productos pueden tener una repercusión negativa al ser humano, al medio ambiente, pero sobre todo a la fauna benéfica. Como alternativas dentro de un Manejo Integrado de Plagas (MIP) el combate biológico es una táctica importante a tomar en cuenta.

En las últimas décadas, el control biológico se ha consolidado como una herramienta fundamental en la agricultura protegida, destacando su efectividad y compatibilidad con la preservación del medio ambiente, disminuyendo considerablemente el uso de plaguicidas. Aunque el término control biológico es muy antiguo pocos conocen el concepto y su aplicación, actualmente existe una confusión sobre el control natural y el control biológico, muchas personas creen que los insectos que están pre-

sentes en el sistema agrícola sin ninguna intervención humana y que están regulando los insectos plaga es control biológico, pero no es así. El control natural estrictamente hablando, es la suma de factores bióticos y abióticos, que mantienen las plagas en un punto general de equilibrio sin realizar una acción, excluyendo al hombre. Las plagas cuentan con enemigos de mayor o menor importancia, que aportan un porcentaje de supresión y que las mantienen reguladas. No obstante, la agricultura rompe las relaciones naturales y desequilibra el ambiente, por lo que las plagas se salen de control (Rodríguez-del-Bosque, 2007).

Un ejemplo de control natural sucedió en 2013 cuando llega a México el pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae) una plaga exótica, originaria de África, este insecto se dispersó en todo el país, causando pérdidas que variaron entre el 30 y 100% en cultivos de sorgo. Aunque se pensó en un principio que el control biológico clásico podría ser una opción, el control natural fue el mejor aliado, ya que la acción de insectos parásitoides, depredadores y entomopatógenos mantuvieron las poblaciones por debajo del umbral económico en cultivos de sorgo. (Peña-Martínez *et al.*, 2023).



Figura 1. Coccinélidos alimentándose de pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari*

Se ha dado énfasis a las catarinas, crisopas y sírfidos como agentes que causan la mayor mortalidad de las poblaciones de pulgón. Actualmente esta plaga se mantiene bajo vigilancia, pero ya no es un problema grave, de acuerdo a diversos estudios se han documentado más de 47 enemigos naturales regulando las poblaciones de esta plaga de manera natural (Figura 1).

Otro ejemplo característico del control natural se presenta en cultivos de brócoli, existen enemigos naturales asociados a diferentes plagas, una de las plagas importantes de este cultivo es el pulgón verde *Myzus persicae* el cual en altas poblaciones puede causar daños importantes, este pulgón al alimentarse de la savia de la planta secreta mielecilla la cual al acumularse puede atraer hongos oportunistas como la "fumagina". Sin embargo, existen parasitoides y depredadores que mantienen estas poblaciones en un punto general de equilibrio, unos de los parasitoides más importantes es *Aphidius* sp. (Webb, Niño, y Smith, 2019). El cual a pesar de diversas aplicaciones químicas que se realizan al cultivo, este se mantiene activo teniendo una alta capacidad de búsqueda y parasitismo (Figura 2 y 3).



Figura 2. Adulto de *Aphidius* sp. parasitando pulgón verde del brócoli.



Figura 3. Momias de pulgón parasitadas por *Aphidius* sp.

Estos ejemplos nos ayudan a entender que a veces no es necesario hacer control biológico porque el control natural mantiene las poblaciones de insectos en un punto general de equilibrio, como consecuencia de la acción combinada de factores (bióticos y abióticos) del medio ambiente. Los factores de mortalidad bióticos son reguladores naturales (parasitoides y depredadores) que actúan de forma denso-dependiente esta es una de las bases del control biológico. En cambio, los factores abióticos son aquellos no vivientes o físicos (luz, temperatura, humedad, etc.) los cuales tienen la forma de densidad-independiente que influyen directa o indirectamente en la vitalidad, actividad o reproducción de un organismo (Summy y French, 1988).

Para mantener este equilibrio es necesario tratar de disminuir las aplicaciones de plaguicidas, tomando en cuenta productos que no sean tan agresivos con los enemigos naturales y que, además, estén autorizados por autoridades fitosanitarias, tratando de causar el menor impacto posible. Los plaguicidas químicos, tienen un papel importante en el manejo de plagas, pero su aplicación constante ha generado problemas, por ejemplo: el desarrollo de resistencia, resurgimiento de plagas secundarias, contaminación al ambiente, riesgos a la salud humana, costos de producción y disminución de la fauna beneficiaria (Simranjeet *et al.*, 2020).

Los plaguicidas son una herramienta que se utiliza frecuentemente para mejorar la productividad y la seguridad agroalimentaria, son una parte integral de la agricultura moderna, sin embargo, son un arma de doble filo si son mal utilizados. Desde la publicación en 1962 del libro "La Primavera Silenciosa" de Rachel Carson se descubrieron diversos efectos que causan los plaguicidas a muchos organismos incluyendo a los mamíferos, uno de los plaguicidas que fue prohibido en muchos países fue el DDT. A partir de este evento algunos países como la Unión Europea han implementado medidas estrictas para controlar el uso de plaguicidas debido a las prácticas agrícolas intensivas, en Brasil existe preocupación por el uso excesivo de estos productos que genera una alta contaminación ambiental y riesgos a la salud (Zhou, Li, y Achal, 2024). Frente a esta problemática el control biológico es una táctica importante a tomar en cuenta ya que ofrece diferentes ventajas más amigables con el medio ambiente.

Casos Exitosos de Control Biológico: Ejemplos Inspiradores

Uno de los ejemplos históricos y relevantes es el caso del control de la cochinilla acanalada de los cítricos (*Icerya*

purchasi) en California a finales del siglo XIX. Esta plaga amenazaba con destruir la industria citrícola de la región por la alta infestación de este insecto. La introducción de la catarina “vedalia” *Rodolia cardinalis* desde Australia fue un hito en la historia del control biológico. Este coccinélido depredador logró reducir las poblaciones de la cochinilla acanalada de manera tan efectiva que salvó a la industria citrícola, convirtiéndose en uno de los ejemplos más emblemáticos del éxito del control biológico clásico exitoso, marcando un momento histórico del control biológico de plagas (Caltagirone, 1981).

El control biológico ha demostrado ser eficaz en diferentes casos alrededor del mundo. Uno de los ejemplos importantes en México fue el control de la mosca prieta de los cítricos *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera: Aleyrodidae) la cual en altas infestaciones causa clorosis, defoliación y marchitamiento, además, la excreción de las sustancias azucaradas promueve el desarrollo de “fumagina” la cual reduce la fotosíntesis e impide la respiración de la planta. Para su combate se introdujeron a cuatro parasitoides de la India y Pakistán (*Amitus hesperidum*, *Encarsi clypealis*, *Encarsia perplexa* y *Encarsia smithi*) de los cuales *E. perplexa=opulenta* (Hymenoptera: Aphelinidae) y *Amitus hesperidum* (Hymenoptera: Encyrtidae) fueron los parasitoides que funcionaron mejor ya que se adaptaron a las condiciones de las huertas citrícolas de México. El resultado fue: Liberación, Establecimiento e Impacto L+/E+/I+. positivos (Arredondo-Bernal *et al.*, 2020).

Otro caso notable es el control de la cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* este insecto tiene un amplio rango de hospederos, causando deformaciones en hojas, ramas y frutos, además, de secretar mielecilla en las hojas lo que favorece el crecimiento de hongos oportunistas como la “fumagina”. Esta cochinilla amenazaba cultivos ornamentales (Obelisco, Yaca, Parota, Teca entre otros) además, se esperaban pérdidas millonarias en cultivos de Guanábana, Guayaba, Jamaica, Lima, Limón, Mango etc. Su primera detección fue en Mexicali, Baja California México en diciembre, 1999, la segunda detección fue Bahía de Banderas, Nayarit en enero de 2004. A partir de ahí se implementaron acciones de manejo, se capacitaron a técnicos y productores, también, se realizó divulgación a técnicos, productores y público en general y de acuerdo con experiencias previas en otros países se realizó control biológico clásico se introdujo el depredador *Cryptolaemus montrouzieri* (Coccinellidae) de laboratorios comerciales de Columbia, Canadá y California, USA. y un parasitoide *Anagyrus kama-li= callidus* y *Gyranusoidea indica* (Hymenoptera: Encyrtidae) de Puerto Rico y Belice. Siendo un caso más de control biológico clásico exitoso en México (SENASICA, 2009).

Los Tipos de Control Biológico: Entre lo Clásico y lo Moderno

El término control biológico hace muchos años se ha venido estudiando, no obstante, existen muchas definiciones que se han venido modificando. Una de las definiciones más aceptadas es “el uso de (parasitoides, depredadores y entomopatógenos) los cuales reducen los daños producidos por insectos plaga minimizando los efectos por de bajo de lo que ocurriría en su ausencia, manteniendo un punto de equilibrio, no afectando económicamente al productor” (Garza-Sánchez *et al.*, 2023).

El control biológico es una táctica que se divide en tres métodos principales: Control biológico por aumento, por conservación y clásico o por introducción. Estos se fundamentan en tres principios básicos esenciales: Autorregulable, autosostenible y denso-dependiente. El desconocimiento de esta táctica muchas veces se confunde con la ineficiencia del método, no obstante, una vez establecidos los insectos mediante el control biológico por conservación, estos permanecerán sin necesidad de hacer diversas liberaciones.

El control biológico clásico se refiere a la introducción de enemigos naturales desde la región de origen de la plaga en una nueva área geográfica. Este enfoque se basa en la idea de que, si una plaga exótica se ha establecido en un nuevo territorio sin sus depredadores o parasitoides naturales, la introducción controlada de los enemigos naturales puede restaurar el equilibrio ecológico y mantener las poblaciones de plagas a niveles bajos, tal como sucedería en la naturaleza (Caltagirone, 1981).

Por otro lado, el control biológico por aumento implica la liberación periódica de agentes de control biológico para disminuir temporalmente las poblaciones de los insectos plaga. Este método es común en invernaderos, donde puedes tener condiciones controladas y tener una mayor eficiencia del material biológico liberado. Por ejemplo, cuando tienes problemas de pulgones en cultivos de pimiento o en plantas ornamentales cultivadas bajo este sistema, puedes liberar cri-sopas cada cierto periodo de tiempo permitiendo un control preciso y específico sin afectar a otros organismos no objetivo (Grønvold *et al.*, 1996).

Finalmente, el control biológico por conservación es una táctica que se enfoca en preservar y fomentar las poblaciones de enemigos naturales que ya existen en el ambiente. A me-

nudo, esto implica ajustar las prácticas agrícolas para crear condiciones favorables para estos organismos, como reducir el uso de agroquímicos que podrían matarlos, o plantar cultivos con flores para mantener refugios para los depredadores y parasitoides. Esta táctica puede ofrecer un control a largo plazo, ya que los enemigos naturales se mantienen activos y saludables dentro del ecosistema agrícola sin necesidad de hacer liberaciones de nuevos agentes de control biológico (Landis *et al.*, 2000).

Depredadores, Parasitoides y Entomopatógenos: Los Protagonistas en el Control Biológico

Cada tipo de enemigo natural tiene características y mecanismos únicos que los hacen adecuados para diferentes situaciones de control de plagas. Los depredadores, por

ejemplo, son organismos que cazan y consumen activamente a sus presas, a menudo de manera voraz. Las catarinas o mariquitas como son conocidas son famosas por su apetito por los pulgones, pueden consumir cientos de estos insectos a lo largo de su vida, esto ayuda a proteger cultivos como los cítricos, algodón y algunas hortalizas (Rhodes, 1993).

Por otro lado, los parasitoides tienen un enfoque más especializado. Estos insectos depositan sus huevos dentro o sobre sus huéspedes, que generalmente son plagas como larvas (gusanos), huevos de insectos incluso adultos. A medida que las larvas del parasitoide se desarrollan, se alimentan del huésped, matándolo en el proceso. Las avispas parasitoides como *Chelonus insularis* (Figura 4) son especialmente efectivas en el control de huevos de plagas de lepidópteros como gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*, ya que atacan los huevos de estos insectos y aunque las larvas se desarrollan emergen avispas y no las palomillas (Lenteren *et al.*, 2018).



Figura 4. Hembra adulta de *Chelonus insularis* parasitando huevos de gusano cogollero.

Los patógenos, por otra parte, son microorganismos como bacterias, hongos y virus que infectan a los insectos plaga y causan enfermedades que eventualmente los matan. El hongo *Beauveria bassiana* es uno de los patógenos más utilizados en todo el mundo. Este hongo infecta a los insectos plaga al adherirse a su cutícula y penetrar en su cuerpo, esto provoca una infección letal que los debilita y termina por matarlos (Figura 5). Puede encontrarse de manera natural si las condiciones ambientales lo permiten, cuando las temperaturas son altas y existe una alta humedad relativa podemos encontrar insectos micosados de manera natural (Figura 6). Este método es altamente efectivo contra una amplia variedad de insectos plaga, como los pulgones, larvas de lepidópteros y escarabajos, y es seguro para otros organismos como los mamíferos (Lacey *et al.*, 2001).



Figura 5. Larva de gusano cogollero micosada de manera natural por *Beauveria* spp.



Figura 6. Larva de gusano cogollero micosada de manera natural por *Metarhizium* spp.

Los virus entomopatógenos son uno de los grupos principales de microorganismos patógenos, estos infectan a los insectos una vez que estos ingieren el alimento contaminado ya que como sabemos los virus son patógenos obligados y no actúan por contacto como lo hacen otros microorganismos entomopatógenos, uno de los virus más usados en la industria moderna son los que pertenecen a la familia Baculoviridae, estos son uno de los más diversos y son aislados casi exclusivamente de Hymenopteros, Coleópteros y

Lepidópteros. No obstante, la diversidad de virus es amplia y cada familia posee características particulares específicas de cada plaga lo que hace que sean más efectivos (Del Rincón-Castro *et al.*, 2020)

Los nemátodos entomopatógenos son organismos que han tenido un auge importante en la industria del control biológico, las familias más estudiadas son Steinermatidae y Heterorhabditidae, estos organismos se desarrollan a expensas de su huésped hasta causarles la muerte. Tienen una asociación mutualista compleja nematodo-bacteria, estos organismos presentan atributos tanto parásito como patógeno de insectos, tienen la capacidad de buscar a su huésped y como patógenos llevan la bacteria en su intestino y la liberan dentro del huésped lo que los hace más virulentos y una de las ventajas que tienen estos organismos es que son seguros para vertebrados. Lo que los hace unos excelentes agentes de control biológico para el manejo de plagas (Alatorre-Rosas, 2020).

Ventajas del Control Biológico: Un Enfoque Natural

Las ventajas del control biológico son significativas. En primer lugar, es una táctica que no genera residuos tóxicos. Además, el control biológico es menos propenso a generar resistencia en las plagas. Los enemigos naturales están en constante evolución junto con sus presas, lo que dificulta que las plagas desarrollen resistencia a sus ataques (Wright, 2014).

Otra ventaja importante es la preservación de la biodiversidad. Algunos agentes de control biológico son altamente específicos, por lo que suelen atacar a las plagas objetivo. A pesar de ello, se requiere de investigación y evaluación para la liberación en nuevos ambientes (Mantzoukas & Eliopoulos, 2020).

Desafíos del Control Biológico: Limitaciones y Consideraciones

A pesar de los beneficios, el control biológico no está exento de desafíos. Uno de los principales inconvenientes es que su impacto inicial puede ser lento. A diferencia de los plaguicidas, que actúan rápidamente para eliminar las plagas, los enemigos naturales pueden tardar un tiempo en

establecerse en un nuevo entorno y en reducir las poblaciones de plagas de manera efectiva. Este es un desafío particular en situaciones donde se necesita un control inmediato para evitar pérdidas a corto plazo en los cultivos, también existe una alta susceptibilidad de los enemigos naturales a plaguicidas sintéticos.

Además, aunque los agentes biológicos son generalmente específicos para sus presas, existe el riesgo de que algunos depredadores o parásitoides desplacen a enemigos naturales nativos afectando el control natural. Este fenómeno, puede suceder, y tener consecuencias imprevistas para la biodiversidad local. Por lo tanto, es esencial realizar estudios cuidadosos antes de introducir cualquier organismo en un nuevo ecosistema (Stiling y Cornelissen, 2005).

Conclusión

El Control Biológico representa una alternativa muy importante dentro de un Manejo Integrado de Plagas (MIP). Esta táctica ofrece un enfoque duradero y respetuoso con el medio ambiente para el manejo de plagas en la agricultura, además, reduce la resistencia a las plagas lo cual la convierte en una opción para la agricultura del futuro. No obstante, como ya se ha descrito anteriormente representa ciertos desafíos, como el tiempo que requiere para establecerse y el riesgo de no tener la capacitación adecuada para realizar las acciones.

Literatura Citada

- Arredondo-Bernal HC, Tamayo-Mejía F, Rodríguez-Del Bosque LA. 2020. Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades. Colegio de Postgraduados. Azcapotzalco, México.
- Caltagirone, L. E. (1981). Landmark examples in classical biological control. *Annual Review of Entomology*, 26(1), 213-232.
- Del Rincón-Castro, J. C. Rangel Nuñez e I. Zenella-Sainz (2020). Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades. División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca. Guanajuato, México. Pp 251
- Doutt, R. L., & Smith, R. F. (1971). The pesticide syndrome—diagnosis and suggested prophylaxis. In *Biological Control: Proceedings of an AAAS Symposium on Biological Control, held at Boston, Massachusetts December 30–31, 1969* (pp. 3-15). Boston, MA: Springer US.
- Garza-Sánchez, J., Coronado-Blanco, J. M., Rodríguez-Del-Bosque, L. Á., Osorio-Hernández, E., Estrada-Drouillet, B., & Khalaim, A. I. (2023). El control biológico en la educación agrícola: una alternativa sustentable. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 9(1).
- Grønvold, J., Wolstrup, C., Nansen, P., Henriksen, S. A., & Larsen, M. (1996). Biological control aspects of biological control—with reference to arthropods, protozoa and helminths of domesticated animals. *Veterinary Parasitology*, 64(1-2), 47-64.
- Lacey, L. A., Frutos, R., Kaya, H. K., & Vail, P. (2001). Insect pathogens as biological control agents: Do they have a future? *Biological Control*, 21(3), 230-248.
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45(1), 175-201.
- Lenteren, J. C. van, Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *BioControl*, 63(1), 39-59.
- Mantzoukas, S., & Eliopoulos, P. A. (2020). Entomopathogenic fungi: A valuable biological control tool against the pine processionary moth, *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae). *Frontiers in Microbiology*, 11, 1994.
- Peña-Martínez, R., Lomeli-Flores, J. R., Bujanos-Muñiz, R., Salas-Monzón, R., Hernández-Torres, O. E., Marín-Jarillo, A., ... & Muñoz-Viveros, A. L. (2023). Comparative Biology and Life Tables of Sugarcane Aphid *Melanaphis Sacchari* (Hemiptera: Aphididae) From Guanajuato, Mexico, at Different Temperatures.
- Alatorre-Rosas R. (2020). Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco Edo. Méx, México. Pp 271
- Rhodes, D. J. (1993). Formulation of biological control agents. In *Biopesticides: Use and delivery* (pp. 411-438). Springer.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. 2007. Fundamentos ecológicos del control biológico, pp. 19-35. En: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.
- SENASICA. 2009. Campañas Fitosanitarias. Cochinilla Rosada del Hibisco. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y

Calidad Agroalimentaria (SENASICA) SADER. Disponible en www.gob.mx Cochinilla rosada o cochinilla rosada del hibisco. Consultado el 16 de enero de 2025

Simranjeet, S., Singh, G., & Singh, S. (2020). Biological control agents: Diversity and ecological significances. In *Microbial biotechnology: Basic research and applications* (pp. 55-70). Springer.

Stiling, P., & Cornelissen, T. (2005). What makes a successful biocontrol agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological control*, 34(3), 236-246.

Summy, K. R. and J. V. French. 1988. Biological control of agricultural pests: Concepts every producer should understand. *J. Rio Grande Hort. Soc.* 41: 119-133.

Webb, S. E., Niño, A., & Smith, H. A. (2019). Manejo de Insectos en Crucíferas (Cultivos de Coles) (Brócoli, Repollo, Coliflor, Col, Col Rizada, Mostaza, Rábano, Nabos). UF/IFAS Extension, 1-30.

Wright, M. G. (2014). Biological control of invasive insect pests. In *Invasive species and global climate change* (pp. 149-174). CABI.

Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2024). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, 11 (1), 1-12.

ENTROPIA: UN BREVE RECORRIDO POR LA HISTORIA

Miranda A., Ortiz-Alonso¹

¹. Facultad de Agronomía, UANL, Campus de Ciencias Agropecuarias - UANL, Calle Fco. Villa s/n, Col. Ex-Hacienda "El Canada", General Mariano Escobedo, Nuevo León, México, C.P. 66054.

Imagen ilustrativa / Fuente: Internet.

Entropía de Clausius

La termodinámica es la parte de la física que se dedica al estudio de las transformaciones de energía, en las cuales intervienen el calor, el trabajo mecánico y otros aspectos de la energía; así como la relación que existe entre las transformaciones y propiedades de la materia.

Inicialmente la termodinámica surgió del estudio de la producción de trabajo mecánico a partir de fuentes de calor, y su interés se centró en las aplicaciones técnicas de las máquinas térmicas. Desde el punto de vista histórico, la termodinámica se desarrolló durante los siglos XVIII y XIX cuando las nociones de calor y temperatura no se comprendían completamente, hasta llegar a su formulación actual. Uno de los conceptos que no se comprendían en el inicio de la termodinámica, y que aun sigue siendo

un motivo de debate e incomprensión es el de entropía.

Para atestiguar el nacimiento del concepto de entropía, nos tenemos que remontar hasta el año 1865; en este año Rudolf Clausius en la escritura de sus Memorias, introdujo y definió el concepto de entropía como *la magnitud que mide la parte no utilizable de la energía para realizar un trabajo*. Clausius describe en sus Memorias los estudios sobre la máquina de Carnot, e intentó explicar las transformaciones entre calor y trabajo, que posteriormente se denominaría el principio de equivalencia de Clausius.

A las transformaciones entre calor y trabajo, Clausius las denominó entropía, palabra que etimológicamente viene del griego "tropos" que significa transformación, además, denotó la entropía con el símbolo *S*, el cual prevalece hasta nuestros días. Clausius considera como transformaciones equivalentes a aquellas que pueden reemplazarse mutua-

mente, y para las cuales se cumple la relación matemática Q/T , donde Q denota al calor y T a la temperatura. También intentó dar respuesta a la pregunta, ¿cómo el calor contenido en un cuerpo puede producir trabajo? En respuesta a esta pregunta, introduce una visión microscópica al establecer que el trabajo lo realiza un cuerpo, en virtud de una modificación de su arreglo de partículas.

Entropía de Boltzmann

Basado en este último razonamiento, Ludwig Boltzmann alrededor del año 1872 se propuso construir una descripción más precisa del movimiento de partículas microscópicas y su relación con el concepto de calor; de tal manera, que formuló el enfoque microscópico de la entropía. En este enfoque el movimiento de las partículas esta descrito por la distribución de velocidades de Maxwell, y a partir de ahí, Boltzmann establece que: *desde el punto de vista de la mecánica, cualquier arreglo de partículas en un contenedor es posible. Sin embargo, es posible distinguir dos distribuciones, una molarmente ordenada, la cual se relaciona con la velocidad de las partículas y una molecularmente ordenada que tiene que ver con el arreglo de las partículas en el espacio.*

Boltzmann afirmó que un gas confinado en un recipiente, a través de su expansión natural, pasará de una distribución molarmente ordenada y molecularmente ordenada hasta una distribución molarmente desordenada y molecularmente desordenada, respectivamente. Por lo tanto, en la formulación de Boltzmann es posible se distinguir dos tipos desorden: molar y molecular; además, concluye que la distribución de velocidades de las moléculas de un gas se acerca cada vez más a la distribución más probable, la cual es un estado molecularmente desordenado. A partir de estas consideraciones estadísticas, Boltzmann encontró que la entropía quedaba expresada por un logaritmo natural del número de estados posibles en los que puede encontrarse un gas.

Actualmente, se considera a la entropía como la medida del desorden, no obstante, Boltzmann, no observó a la entropía como un desorden, sino que la consideró como una medida de la probabilidad de los estados. El desorden molecular solo quedó expresado como una suposición necesaria a su formulación matemática, la cual se otorgó en el año 1900, cuando Max Planck dio la forma conocida de la ecuación de la entropía de Boltzmann.



Figura 1. Tumba de Ludwig Boltzmann, con su ecuación de la entropía. Tomado de De Daderot de Wikipedia en inglés.

Entropía de Schrödinger

La mecánica cuántica introduce un cambio en los conceptos fundamentales de la mecánica clásica, pues además de aceptar la teoría corpuscular de la materia, modifica los conceptos de movimiento de una partícula. En la mecánica clásica se da por hecho que todas las coordenadas y velocidades, se pueden medir con exactitud dentro de los límites experimentales, no así en la mecánica cuántica, en donde además del límite experimental, existe un límite teórico, por debajo del cual no se puede despreciar la influencia del proceso de medición sobre el sistema a medir. Por consiguiente, la medida de la condensada de una partícula cambia necesariamente su impulso en mayor cantidad, cuanto más precisa se realiza la medición de la coordenada. Este principio de incertezza, trae como consecuencia en la termodinámica, que los procesos de transferencia de energía cambian de una forma continua a nivel macroscópico, a una transferencia en forma discreta a nivel microscópico, en otras palabras, a través de niveles de energía.

En la mecánica estadística, un sistema siempre se encuentra en el estado de más alta energía; en la mecánica cuántica, el estado de más alta energía es solo uno de los niveles cuánticos de energía, en los cuales el sistema puede encontrarse. Lo que nos lleva a la cuestión: ¿cuál sería entonces la distribución de niveles cuánticos de energía, en la que el sistema tendrá la mayor probabilidad de encontrarse? Schrödinger en 1944 tomó como punto de partida la mecánica estadística, al establecer el concepto de peso estadístico o la probabilidad de que una partícula se encuentre en un nivel de energía determinado. En base a esto, definió la distribución más probable de que un sistema de partículas se encuentre en un determinado nivel de energía, donde designó un término logarítmico indicando la cuantización de la energía y un término Q/T similar al de Clausius para introducir el efecto cuántico en la termodinámica. Llegando así a su formulación de entropía, combinando un término clásico Q/T con un término logarítmico similar al de Boltzmann.

Entropía de Gibbs

En 1873, Josiah Willard Gibbs resaltó el papel de la entropía en la termodinámica, siguiendo los desarrollos de la entropía de Clausius, llegó a formular la versión clásica de la primera ley de la termodinámica en forma diferencial (la cual aparece muy común en los libros de texto actuales de termodinámica), en una expresión en donde solo aparecen variables de estado y la entropía es una de esas variables. Más adelante en 1902, realizó una formulación más general de la mecánica estadística, en particular, de las ideas de Boltzmann al considerar solo los argumentos probabilísticos a entidades de particular o moléculas. En palabras de Gibbs: *nosotros imaginamos a un gran número de sistemas de la misma naturaleza, pero que difieren en su configuración y velocidades que tienen en un instante dado, además estos sistemas pueden tener cualquier combinación posible de configuraciones y velocidades.* A este gran número de sistemas Gibbs lo denominó ensemble, e introdujo diferentes tipos de ensembles, dentro de los cuales destaca el ensemble canónico, es decir, sistemas con la misma energía. Utilizando su concepto de energía libre, y el concepto de ensemble, realiza su formulación de entropía como una generalización aplicable a todos los sistemas termodinámicos y sus aplicaciones a cualquier temperatura terrestre. De igual forma que Boltzmann y Schrödinger introduce un término logarítmico, solo que a diferencia de ellos es un logaritmo natural del número entero dos. Donde el numero dos representa las dos pro-

babilidades en los que el electrón puede alcanzar la energía cero: espín hacia arriba y espín hacia abajo, por lo tanto, la entropía de Gibbs establece también una conexión de la termodinámica con la mecánica cuántica.

Entropía de Shannon

La publicación de la Teoría de la información de Claude Shannon crea un modelo matemático para poder descifrar los sistemas de comunicación por medio de entidades de probabilidad. El concepto de información es definido estrictamente en términos estadísticos, bajo el supuesto que puede ser tratado de forma semejante a como son tratadas las cantidades físicas como la masa y la energía. De hecho, el tratar a la información como una cantidad física es una premisa fundamental de la teoría de la información. Esta teoría es la base sobre la cual se ha creado toda la teoría actual de la codificación y la comunicación. Su objetivo es establecer los límites de cuanto se puede llegar a comprimir la información y definir la mayor velocidad a la cual se puede trasmisir tal información. La teoría se basa principalmente en el uso de una función logarítmica como una medida de la información, y se respalda el uso de esta función porque los parámetros utilizados en ingeniería tales como el tiempo, el ancho de banda y el número de réplicas, tienden a variar linealmente con el logaritmo.

Shannon en 1949, estableció su formulación de entropía basado en el uso de la teoría de la probabilidad, la inspiración de Shannon de adoptar la palabra entropía en su teoría de la información, surgió de la estrecha similitud matemática entre su formulación y el de Boltzmann y Gibbs. No obstante, en el nivel práctico cotidiano, los vínculos entre la entropía de la información y la entropía termodinámica no son evidentes. En los procesos físicos y químicos, las cantidades de entropía son extremadamente grandes en comparación con cualquier proceso en la compresión de datos o procesamiento de señales. Otro aspecto a considerar, es que, en la termodinámica clásica, la entropía se define en términos de cantidades macroscópicas, y no hace ninguna referencia a ninguna distribución de probabilidad, punto central en la definición de la teoría de la información. Sin embargo, existen investigadores que especifican que la entropía termodinámica, tal como se explica mediante la mecánica estadística, debe verse como una aplicación de la teoría de Shannon: la entropía termodinámica se interpreta como una proporción a la cantidad de información adicional necesaria

para definir el estado microscópico detallado del sistema, que permanece sin comunicar mediante una descripción únicamente en términos de las variables macroscópicas de la termodinámica clásica donde la proporción viene dada por la constante de Boltzmann.



Figura 2. Claude Elwood Shannon (1916-2001). Tomado de Konrad Jacobs, Erlangen.

Dinámica, caos y entropía

La noción de dinámica ha evolucionado con el paso del tiempo, ahora cuando se habla de dinámica, no solo entendemos el movimiento de los cuerpos celestes y los sistemas mecánicos sólidos, sino cualquier cambio con respecto al tiempo de una o más variables. La dinámica se define como la parte de la física que describe la evolución temporal de un sistema físico, en relación con las causas que provocaron los cambios de estado de movimiento. En la actualidad se suele dividir a la dinámica en dos partes, lineal y no lineal, en donde estos términos son utilizados en base a la estructura matemática de las ecuaciones de movimiento de los objetos bajo estudio. En lo que nos

concierne, nos centraremos en los sistemas dinámicos no lineales, los cuales poseen las siguientes características:

1. No existe una relación causa-efecto.
2. El resultado final es mayor a la suma de cada término (emergencia).
3. Tienen alta sensibilidad a las condiciones iniciales, no siempre la misma causa produce el mismo efecto.
4. Son inestables.

De la cuarta característica, la inestabilidad se produce un tipo de movimiento denominado caos. El término caos aparece desde tiempos remotos en las grandes civilizaciones de la antigüedad, con la finalidad de explicar el fin del mundo, y, por ende, del ser humano, tal es así que, en las cosmogonías de propias de cada cultura, se le asocio al caos un significado mítico relacionado con el desorden. Hasta hoy en día sigue prevaleciendo este significado mítico, sobre todo en el lenguaje coloquial caos es sinónimo de desorden o falta de estructura. Sin embargo, cuando nos referimos a la ciencia, existe otro tipo de caos, denominado caos determinista, es decir, una conducta compleja e impredecible que se deriva de las ecuaciones del movimiento del sistema no lineal.

Existen indicadores que nos permiten identificar el comportamiento caótico, además de detectar el paso de un comportamiento regular al caos. A grandes rasgos, podemos dividir los indicadores de caos en dos grandes grupos:

1. Aquellos que miden de algún modo como se pierde la información a lo largo de una evolución temporal, como el exponente de Lyapunov o la entropía de Kolmogorov.
2. Los que se refieren al carácter fractal de la señal del atractor en el espacio de las fases.

La entropía de Kolmogorov, se formuló en la década de 1970 y se definió como el principio que mide la perdida de información a lo largo de la evolución de un sistema dinámico. De acuerdo con las ideas de Shannon, la entropía proporciona un valor sobre la cantidad de información que se necesita para localizar el sistema en un determinado estado. En los sistemas dinámicos no lineales que presentan caos, el movimiento comienza a partir de las condiciones iniciales predeterminadas y seguirá una trayectoria a través del tiempo. Conforme el sistema va avanzando en la trayectoria, va perdiendo progresivamente la información

que poseía inicialmente, hasta que llega a un momento en que la ha perdido toda, y a partir de ese momento es imposible hacer alguna predicción sobre el sistema. Andrei Kolmogorov, al igual que Boltzmann, Gibbs y Shannon, también introduce el término logarítmico en su formulación de entropía, con la salvedad de que introduce un logaritmo adicional para la evolución temporal.

Agujeros negros y entropía

Se considera a la termodinámica de los agujeros negros como una rama de la astrofísica que se desarrolló a partir del descubrimiento de la analogía entre los principios de la termodinámica y algunas propiedades de los agujeros negros. La termodinámica de los agujeros negros tuvo su origen con Stephen Hawking en 1975, al plantear el fenómeno de la evaporación de los agujeros negros, el cual establece que un agujero negro no es un cuerpo absolutamente oscuro, sino que podría emitir una cantidad débil de radiación térmica.

La teoría de la relatividad general establece que un agujero negro es un ente matemático del cual ni la luz visible, ni cualquier tipo de radiación puede escapar de él. La termodinámica establece que cualquier sistema debe alcanzar el equilibrio térmico entre sus subsistemas, esta condición de equilibrio exige que un agujero negro emita radiación, sin embargo, desde el punto de vista de las teorías clásicas, esto es imposible.

En base a principios de la mecánica cuántica, Hawking indicó un mecanismo por el cual los agujeros negros pueden emitir radiación y cumplir con las leyes de la termodinámica. Este mecanismo es el de una fluctuación cuántica, es decir, un proceso en donde la creación de pares partícula-antipartícula durante instantes de tiempo muy breves a partir del vacío. Los pares partícula-antipartícula son virtuales, pero la intensa gravedad del agujero negro los transforma en reales. Todos los pares se desintegran rápidamente entre sí, devolviendo la energía prestada para su formación. Lo que Hawking demostró fue qué en las cercanías de un agujero negro, las fluctuaciones cuánticas del vacío muestran un comportamiento peculiar: la antipartícula es capturada por el agujero negro y la partícula escapa al exterior, dicho de otra manera, al capturar preferentemente antipartículas, el agujero negro se muestra a un observador externo como un sistema que emite partículas o radiación. La pérdida de radiación implica que el agujero negro deba de perder masa (de ahí el término evaporación), pero en un agujero negro,

la temperatura es inversamente proporcional a su masa, así que, a medida que el agujero pierde masa, se calienta y como conclusión debe tener una temperatura distinta de cero y, por ende, una entropía. Hawking demostró, que la entropía de un agujero negro debía ser proporcional al área de su horizonte de eventos, debido que, durante la pérdida de masa por evaporación, se haría cada vez más pequeño.

Finalmente, Hawking se basó en la teoría de información de Shannon para interpretar la información perdida en un agujero negro, además de considerar los procesos de fluctuaciones cuánticas en el vacío, a escalas de tiempo muy pequeñas llegó a su formulación de entropía para un agujero negro, en la cual prevalece el término del logaritmo natural, además de las constantes fundamentales de la naturaleza, como la constante de gravedad universal, la velocidad de la luz y la constante de Planck. De hecho, matemáticamente la combinación de las constantes mencionadas y el logaritmo natural, da como resultado una constante de proporción de un cuarto, y por consiguiente la entropía de un agujero negro es proporcional a la cuarta parte del área del horizonte de eventos.

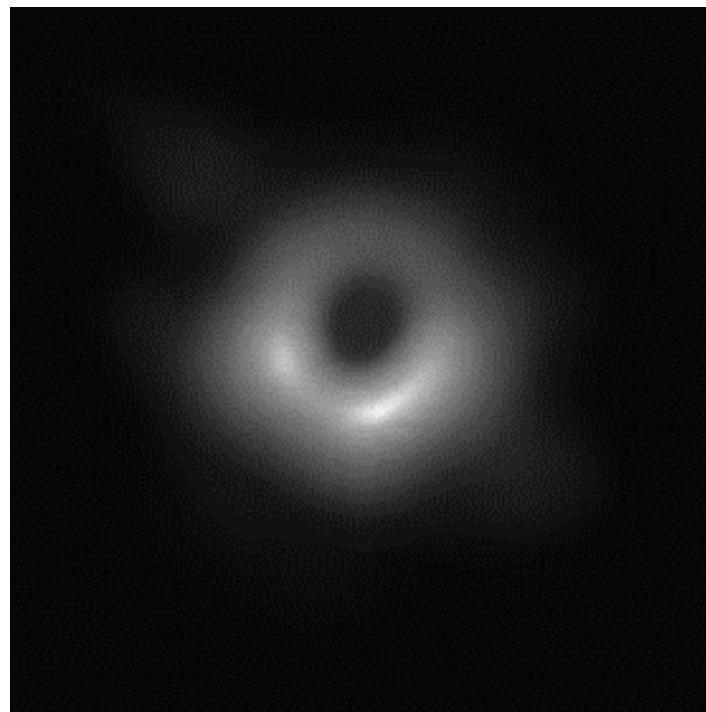


Figura 3. Primera imagen de la esfera de fotones de un agujero negro supermasivo ubicado en el centro de la galaxia M87, presentado el 10 de abril de 2019 por el consorcio internacional Telescopio del horizonte de sucesos. Tomada de Event Horizon Telescope.

(A) Hembra *C. sativa*; (B) Porción de las flores femeninas; (C) Flor femenina pistilada (estigmas, estilo, bráctea perigonal y estípula); (D) Porción de las flores masculinas que muestran anteras; (E) Semillas maduras. Traducido de (Farag and Kayser, 2017).

Conclusiones

A lo largo de este breve artículo hemos podido constatar que casi todas las formulaciones de entropía, matemáticamente poseen un término logarítmico. Este término normalmente se asocia con la perdida de “algo”, ya sea información en la teoría de Shannon, Kolmogorov o de Hawking en los agujeros negros. También, puede estar ligado a la perdida de una cantidad física como el calor en los modelos clásicos de Clausius y Gibbs. Más aun, Schrödinger y Boltzmann nos interpretan el logaritmo como una distribución de probabilidad. No obstante, aun en nuestros días es muy compleja la interpretación cualitativa del concepto de entropía, en ocasiones aun muchos profesores y estudiantes no llegan a comprender a profundidad este enigmático concepto. Por lo que se recomienda al lector revisar la bibliografía si tiene interés en profundizar no solo en las distintas formulaciones matemáticas, sino también en sus correspondientes interpretaciones.

Finalmente hemos presentado algunos de los desarrollos de entropía históricamente más relevantes, empero, no es indicativo de que sean los únicos desarrollos de entropía, como lo acabamos de mencionar existen más formulaciones que merecen ser divulgadas, sin embargo, por el objetivo de este artículo nos extenderíamos mucho en el contenido, por lo que se deja al lector una invitación a investigar más sobre el intrigante concepto de entropía.

Bibliografía

- Pancoatl, P. & Enriquez, R. (2024). Entropía de Kolmogorov-Sinaí. Un caso de aplicación. Reporte Técnico No. 87. INAOE.
- Pinochet, J. (2019). *Stephen Hawking y los agujeros negros cuánticos*. Revista Mexicana de Física E. Vol. No.2.
- Sametband, M. (1999). *Entre el orden y el caos: la complejidad*. Colección la ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica. México D.F.
- Shannon, C. E. (1948). *A Mathematical Theory of Communication*. The Bell System Technical Journal, Vol. 27.
- Ulloa Lugo, N. (2006). *Origen y evolución del concepto de entropía*. Representaciones e implicaciones para la enseñanza. Tesis de doctorado. UPN. México D.F.
- Benson, U. (2014). *Enseñanza de los fenómenos térmicos y la termodinámica: el aporte de la historia y la filosofía de la ciencia*.
- Calzetta, E. (2011). *Entropía*. Colección las ciencias y la matemática. Ministerio de Educación. Buenos Aires, Argentina.
- Falk, G. (1985). *Entropy, a resurrection of caloric-a look at the history of thermodynamics*. Eur. J. Phys. 6.
- Hacyan, S. (2003). *Los hoyos negros y la curvatura del espacio tiempo*. Colección la ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica. México D.F.
- Jaynes, E. T. (1964). *Gibb vs Boltzmann entropies*. American Journal of Physics. Vol. 33.
- Muller, I. (2007). *A History of Thermodynamics. The Doctrine of Energy and Entropy*. Springer Berlin.

SELLO TIF: SINÓNIMO DE HIGIENE E INOCUIDAD EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA EN MÉXICO



Imagen ilustrativa .

Cynthia Torres-Alvarez^{1*}

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Francisco Villa s/n, Ex-Hacienda "El Canadá", General Escobedo, Nuevo León, C.P. 66050, México.

* Correspondencia: cynthia.torresalvr@uanl.edu.mx.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6664-2063>

Cada día, la demanda de productos alimenticios de calidad e inocuos requieren de una mayor regulación en su proceso. Es fundamental el cumplimiento estricto de las normas sanitarias en toda la cadena de suministro para garantizar la inocuidad de los alimentos, es decir, desde el campo hasta la mesa del consumidor. En México, los establecimientos Tipo Inspección Federal (TIF) desempeñan un papel fundamental, en la aplicación de normas sanitarias y en la mejora continua de los procesos con reconocimiento nacional e internacional. Actualmente, a nivel nacional más de 400 establecimientos cuentan con esta certificación TIF con diferentes actividades y especies en la Industria Alimentaria. La certificación TIF es un sello de higiene y calidad que contribuye a los consumidores a proteger su salud y la de sus familias.

Introducción

En las últimas décadas, la seguridad alimentaria ha adquirido una relevancia innegable; es indispensable que cada etapa de la cadena de suministro garantice que los alimentos no representen un riesgo de contaminación, es decir que proveen alimentos inocuos, evitando las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), y así facilitar la expansión de los mercados nacional e internacional. En México, para garantizar alimentos que satisfagan las necesidades, el gobierno cuenta con la certificación Tipo Inspección Federal por sus siglas TIF, es un reconocimiento que otorga la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), a las empresas dedicadas a distintas actividades en el manejo principalmente cárnico; esta certificación se concede a los establecimientos que cuentan con adecuadas instalaciones, la maquinaria, la indumentaria, el proceso en su totalidad y el cumplimiento de normas de higiénico-sanitaria que establece el gobierno mexicano (Profeco, 2019; Carrasco, 2024). La Figura 1, muestra la marca corporativa del sello TIF identifica a la organización o institución de elemento diferenciador de empresas; está formada por símbolo (las siglas TIF) y el logotipo en forma circular con las leyendas respectivas; se incorpora el número oficial del establecimiento que le fue establecido por la autoridad al momento de la certificación, y se cuenta con el Manual de uso y aplicaciones del sello TIF para mayor detalle de este sello en documentos, material de empaque, publicidad entre otras superficies (SENASICA, 2020). En el 2018, el Gobierno Federal realizó el cambio de nombre en la Secretaría, el anterior nombre era SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) y actualmente su nombramiento es SADER; sin embargo, en el sello TIF este cambio no se realizó.



Figura 1. Sello TIF (Tipo Inspección Federal)

Inicio de la Certificación TIF

Esta certificación es de carácter voluntaria, única en México y es reconocida internacionalmente; el inicio fue causada por la aparición de la fiebre aftosa a finales de 1946 cerrando las fronteras norte y sur del país y la prohibición de exportar ganado en pie a Estados Unidos; con esta situación se inició la construcción de los establecimientos TIF para garantizar en los productos cárnicos, la calidad higiénico-sanitaria y pueda concurrir al comercio internacional, siendo entre 1949 y 1950, que se decretó la Ley de industrialización sanitaria de la carne y su reglamento; el establecimiento TIF Número 1 fue otorgado el 8 de mayo de 1947 a la Industria Empacadora de Tampico. S. A. (Escutia, 2021; SENASICA 2016). El sistema se aplica mediante dos procesos: certificación y vigilancia basándose en la Ley Federal de Sanidad Animal y su Reglamento, el Reglamento de la Industrialización Sanitaria de la Carne y de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-ZOO-1994, NOM-009-ZOO-1994 entre otras normativas.

Actualmente, la certificación TIF tiene como objetivo incrementar los estándares de calidad para todos los tipos de carne promoviendo la reducción de riesgos de contaminación de los productos principalmente la industria cárnica permitiendo la movilización dentro del país de manera más sencilla, ampliando la posibilidad de mercado internacional, debido a que los establecimientos TIF son únicos elegibles

para exportar a través de la aplicación de Sistema de inspección por parte de Médicos Veterinarios responsables autorizados (MVRATIF) para la inspección de la carne y su procesamiento y Médicos Veterinarios Oficiales (MVO) que firman documentación oficial requeridos para exportaciones, como profesionales altamente capacitados con conocimientos especializados (SADER, 2015; Escutia, 2021; SENASICA, 2023).

Establecimientos con Certificación TIF en México

Hoy en día, los establecimientos TIF están divididos en cuatro tipos de actividad: 1) sacrificio, 2) corte y deshuese, 3) transformación o proceso y 4) almacén de frigorífico. En la última actualización del Directorio de establecimientos TIF (diciembre, 2024), las empresas certificadas TIF son 441 distribuidas en la República Mexicana. En la Figura 2, se indican el número de empresas con certificación TIF, siendo Nuevo León el estado con el mayor número de empresas certificadas con 73, seguido del Estado de México, Ciudad de México y Jalisco con 55, 43, 40 empresas respectivamente; Baja California Sur y Quintana Roo solo tienen registrado un establecimiento TIF. En los estados de Guerrero, Mo-

relos, Nayarit y Oaxaca no cuentan con ninguna empresa certificada. La certificación TIF incluye empresas que realizan actividades de sacrificio, corte y deshuese, proceso o transformación que incluyen elaboración de topping congelados, alimentos listos para consumir, alimentos preparados crudos, elaboración de embutidos, marinados, inyectados, preformados entre otros y almacenamiento frigorífico (refrigeración o congelación).

Actividades y Especies en los Establecimientos con Certificación TIF

Las principales especies que se incluyen para laborar son porcina, bovina, aviar (pollo, pato, pavo), caprina, ovina, equina, cúnica y cérvido (Figura 3). Esta certificación se centra principalmente en la Industria cárnica, sin embargo, debido al renombre y ampliar el ofrecimiento de alimentos sanos e inocuos a los consumidores, se crearon especificaciones para certificar establecimientos que procesan otros productos de origen animal como leche, miel y huevo; en este último se incluyen productos derivados (ovoproductos) como huevo, yema y clara líquido pasteurizada o deshidratada (en polvo). En el 2016, SENASICA otorgó la certificación TIF al primer establecimiento procesador de leche

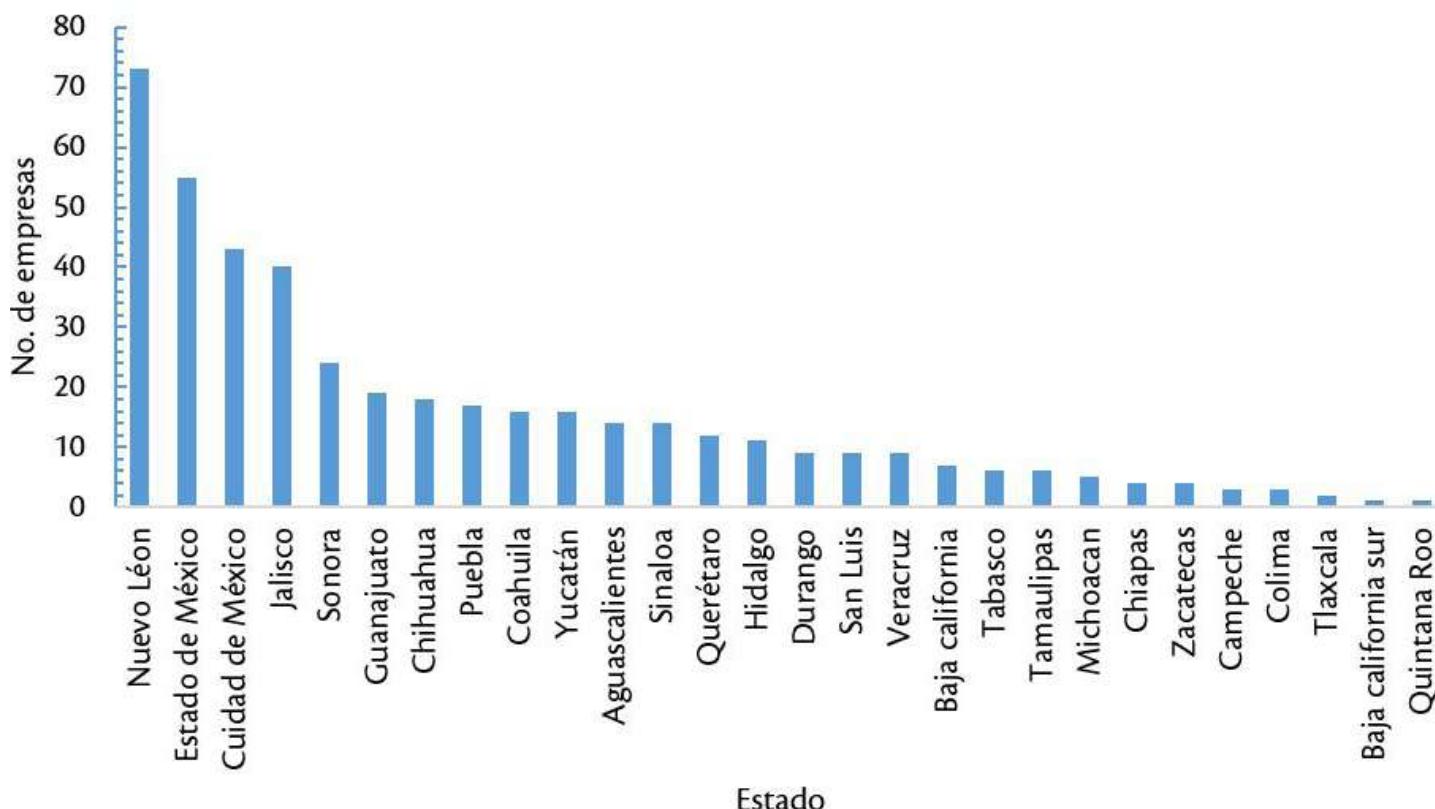


Figura 2. Número de empresas certificadas TIF a nivel nacional.

pasteurizada y deshidratada con el número 669, ubicada en Jalisco; y en el 2018, certifíco el primer establecimiento TIF procesador de miel de abeja con el número 689, ubicada en Aguascalientes; sin embargo, en la actualidad ambos establecimientos no están registrados en el Directorio de establecimientos TIF (SENASICA, 2018).



Figura 3. Principales especies de animales involucradas en la certificación TIF.

Los establecimientos TIF se registran según la actividad que realizan y las especies que manejan; de los 441 establecimientos certificados, solo el 20 % (89) de los establecimientos tienen actividades de solo 1 especie y el 80 % (352) de los estableci-

mientos tienen actividades de 2 o más especies. En la Figura 4, se establece los cuatro tipos de actividades, entre paréntesis se indica el número de establecimientos que realizan dicha actividad y en base a que especies, los establecimientos se pueden certificar varias actividades que involucren varias especies. En la actividad de sacrificio son 117 establecimientos, siendo las especies de bovino y porcino con más presencia. Corte y deshuese es la actividad con 204 establecimientos certificados principalmente en especies de porcino y bovino. La actividad con establecimientos certificados superior es de transformación o proceso con 287, resaltando porcino y bovino. Finalmente, la actividad de almacenamiento en frigorífico con 197 establecimientos certificados con especies porcino, avícola y bovino con presencia relevante. La especie que tienen menor presencia en las actividades en los establecimientos TIF es la cúnica solo está en sacrificio y almacenamiento en frigorífico. En general, la actividad de transformación o proceso impera entre las demás actividades, y las especies con mayor manejo es porcino, bovino y avícola (SENASICA, 2024b). La mayoría de las empresas cuentan con varias actividades registradas y especies principalmente para mantener un nivel operativo activo, ejemplo un establecimiento está registrado con la siguiente actividad: "corte, deshuese, marinado, molido, inyección y rebanado de las especies bovina y porcina; comidas preparadas cocidas de las especies avíar, bovina y porcina; ensamble de emparedados de la especie avíar, porcina y ovoproductos; Almacén frigorí-

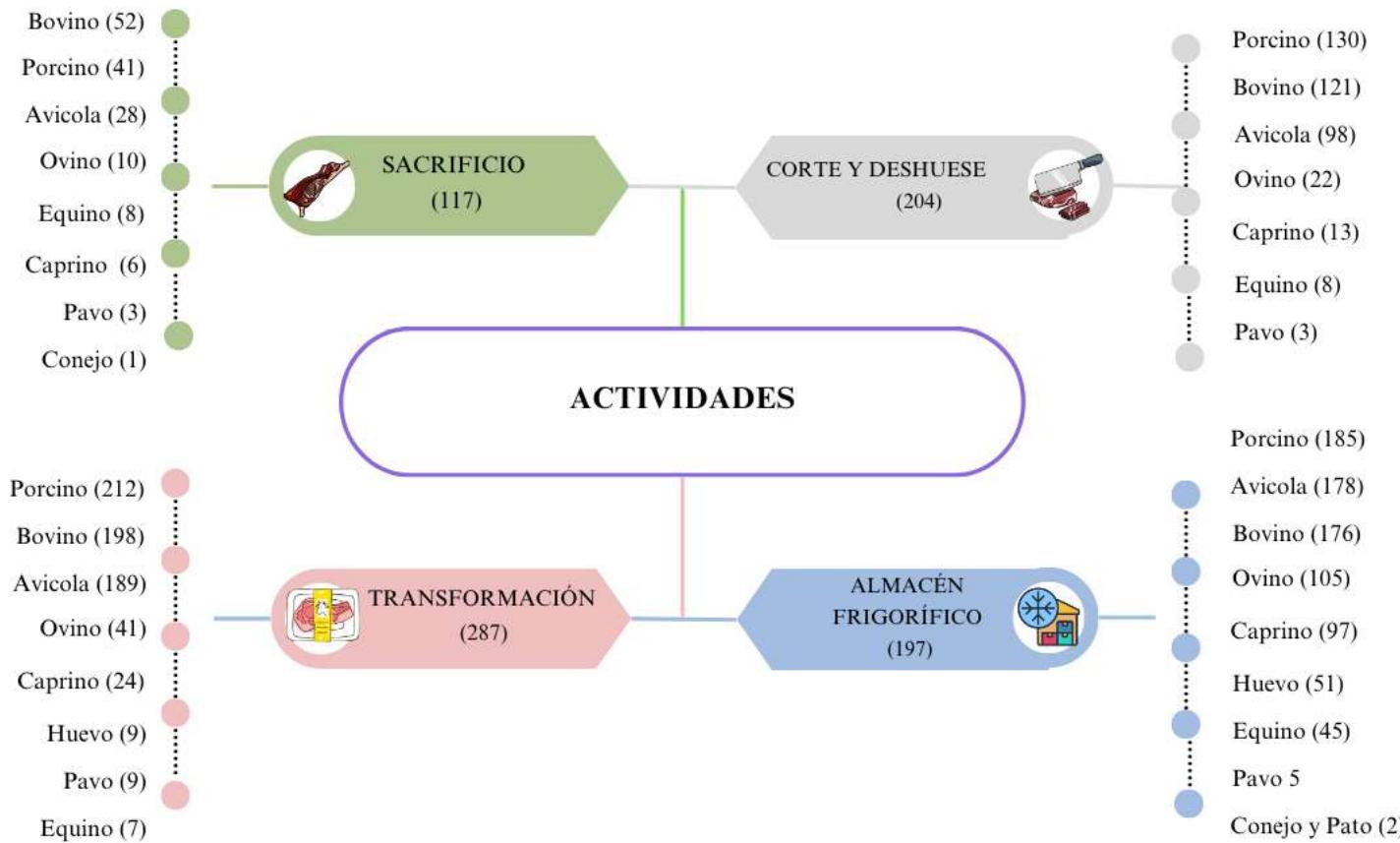


Figura 4. Principales actividades en las empresas certificadas TIF. En paréntesis se detalla cuántas empresas existen en cada actividad.

fico para bienes de origen animal para consumo humano de las especies aviar, bovina, caprina, cúnícola, ovina y porcina, así como ovoproductos”, es decir, manejan 3 de los 4 tipo de actividades y 6 especies. Otro ejemplo: “sacrificio de la especie aviar”, solo un tipo de actividad y una especie; la información del directorio de establecimientos TIF es pública y en constante actualización (SENASICA, 2024a).

En 1982, se estableció la Asociación Nacional de Empacadoras Tipo Inspección Federal (ANETIF), el cual es un consorcio empresarial comprometido en la modernización y optimización de los sistemas de producción en la industria cárnica, dirigido al mejoramiento en los estándares de calidad beneficiando la salud de los consumidores nacionales e internacionales (Escutia I, 2021). En el 2004, fue creada la FUNDACIÓN ANETIF con el objetivo de transferir conocimientos especializados mediante cursos y/o asesoría para contribuir en la creación de innovadoras soluciones que modernicen la inocuidad, la sanidad y calidad de los productos agroalimentarios.

La certificación TIF tiene una vigencia de 5 años, sin embargo, constantemente está en revisión mediante los MVRATIF y/o MVO, asegurando que continuamente durante la cadena de suministro los productos cuenten con los estándares de calidad, higiene e inocuidad como signo de seguridad alimenticia en los productos comercializados en el territorio mexicano y a nivel internacional. Otro desafío multifactorial es la garantía de la sanidad en el sector pecuario que implica asegurar el bienestar animal, evitar enfermedades zoonóticas, asegurándose la inocuidad alimentaria, protegiendo a la salud pública con el acceso a alimentos seguros y nutritivos.

Referencias

- Carrasco P. 2024. ¿Armarás la carne asada? Verifica que la carne que compres tenga la certificación TIF. La Prensa. Recuperado: 2-Enero-2025. URL: <https://oem.com.mx/la-prensa/metropoli/carnes-en-mexico-con-certificacion-tif-que-significa-y-como-cuida-la-salud-13073903>
- Escutia I. 2021. El desarrollo de la industria de la carne Tipo Inspección Federal (TIF) en México. Recuperado: 9-enero-2025. URL: <http://www.academiacientificamexicana.com.mx/wp-content/uploads/2021/10/01-MEM-AVM-publicaciones1.pdf>
- Profeco (Procuraduría Federal del Consumidor). 2019. Certificación TIF. Recuperado: 02-enero-2025. URL: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/certificacion-tif>
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2015. Certificación TIF, sello de calidad que brinda seguridad. Blog. Recuperado: 2-enero-2025. URL: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/certificacion-tif-sello-de-calidad-que-brinda-seguridad#:~:text=La%20certificaci%C3%B3n%20TIF%20tiene%20como,personal%20capacitado%20oficial%20y%20autorizado>
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2023. Establecimientos Tipo Inspección Federal. Recuperado: 2-enero-2025. URL: <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/establecimientos-tipo-inspeccion-federal-tif>
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2020. Sello TIF: Manual de uso y aplicaciones. Recuperado: 2-enero-2025. URL: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/manual-de-uso-y-aplicaciones-del-sello-tif>
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2016. Cuando consumas carne, recuerda que tiene que ser TIF. Recuperado: 2-enero-2025. URL: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/cuando-consumas-carne-recuerda-que-tiene-que-ser-tif>
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2018. Otorga SENASICA primera certificación TIF a Establecimiento procesador de miel. Recuperado: 2-enero-2025. URL: <https://www.gob.mx/senasica/prensa/otorga-senasica-primeras-certificaciones-tif-a-establecimiento-procesador-de-miel-146041?state=published>
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2016. Por primera vez entrega SENASICA certificación TIF a una planta pasteurizadora y deshidratadora de leche. Recuperado: 2-enero-2025. URL: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/entrega-senasica-la-primeras-certificaciones-tif-a-una-planta-procesadora-de-lacteos?idiom=es#:~:text=Inform%C3%A1tis,de%20leche%20pasteurizada%20y%20deshidratada>
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2024a. Directorio de Establecimientos TIF. Recuperado: 2-enero-2025. URL: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/directorio-de-establecimientos-tif-del-25-de-marzo-de-2022?state=published>
- SENASICA Pulso Sanitario. 2024b. Sistema de Información de Acciones Sanitarias, Inocuidad: Establecimientos Tipo Inspección Federal (TIF) Recuperado: 2-enero-2025. URL: <https://dj.senasica.gob.mx/SIAS/Statistics/Inocuidad/EstablecimientosTiposInspeccionFederal>

EL NACIMIENTO DE DOLLY: REVOLUCIÓN EN LA BIOTECNOLOGÍA

Iram Pablo Rodríguez Sánchez^{1*}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán, San Nicolás de los Garza, 66455, México.

* Correspondencia: Dr. Iram Pablo Rodríguez-Sánchez, iramrodriguez@gmail.com (ORCID: 0000-0002-5988-4168)

Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León

Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66455 México.

Comutador 01 (81) 8329-4110 / Fax 01 (81) 8376-2813

En 1996, el mundo fue testigo de un avance científico sin precedentes: el nacimiento de Dolly, la primera oveja clonada a partir de una célula somática adulta. Este logro, llevado a cabo por un equipo de científicos del Instituto Roslin en Escocia, marcó un antes y un después en el campo de la biotecnología y abrió un debate global sobre las implicaciones éticas y científicas de la clonación (Wilmut *et al.*, 1997).

Dolly fue creada mediante un proceso conocido como transferencia nuclear de células somáticas (SCNT, por sus siglas en inglés). Este método consiste en extraer el núcleo de una célula somática adulta e insertarlo en un oocito al que previamente se le ha removido su núcleo. Posteriormente, el oocito es estimulado para que comience a dividirse y desarrollarse como un embrión, que luego es implantado en una madre sustituta. En el caso de Dolly, el núcleo utilizado provenía de una célula mamaria de una oveja adulta, lo que demostró que era posible reprogramar una célula diferenciada para que volviera a un estado totipotente (Campbell *et al.*, 1996).

El nacimiento de Dolly fue un hito no solo por el éxito técnico que representó, sino también porque desafió la noción de que la diferenciación celular era un proceso irreversible. Antes de Dolly, se creía que una vez que una célula se especializaba, no podía volver a su estado pluripotente. Sin embargo, la clonación de Dolly demostró que el ADN de una célula adulta aún contiene toda la información necesaria para desarrollar un organismo completo (Wilmut *et al.*, 1997).

Las implicaciones de este descubrimiento fueron vastas y variadas. En el ámbito de la medicina, la clonación abrió la puerta a la posibilidad de crear órganos y tejidos compatibles para trasplantes, lo que podría revolucionar el tratamiento de enfermedades degenerativas y reducir la dependencia de donantes humanos. Además, la clonación de animales podría tener aplicaciones en la conservación de especies en peligro de extinción, permitiendo la reproducción de individuos a partir de material genético preservado (Lanza *et al.*, 2000).

No obstante, el nacimiento de Dolly también suscitó preocupaciones éticas significativas. La posibilidad de clonar seres humanos generó un intenso debate sobre los límites de la intervención científica en la naturaleza. Las cuestiones sobre la identidad, la individualidad y los derechos de los clones se convirtieron en temas centrales de discusión. Además, surgieron preocupaciones sobre el bienestar de los animales

clonados, ya que Dolly desarrolló artritis y envejeció prematuramente, lo que planteó interrogantes sobre la viabilidad y la salud a largo plazo de los clones (Shiels *et al.*, 1999).

A pesar de las controversias, el legado de Dolly perdura en la ciencia moderna, su existencia ha impulsado investigaciones en biología celular, genética y medicina regenerativa, y ha sentado las bases para el desarrollo de tecnologías como las células madre pluripotentes inducidas (iPSCs). Estas células, que pueden ser reprogramadas para convertirse en cualquier tipo de célula del cuerpo, ofrecen un potencial terapéutico inmenso sin los dilemas éticos asociados a la clonación (Takahashi & Yamanaka, 2006).

En conclusión, la clonación de Dolly la oveja no solo fue un logro técnico extraordinario, sino también un catalizador para el avance científico y el debate ético. A medida que la ciencia continúa explorando las fronteras de la biotecnología, el legado de Dolly nos recuerda la importancia de equilibrar la innovación con la responsabilidad ética. Es fundamental que los avances científicos se desarrollen con un marco ético sólido que proteja tanto la dignidad humana como el bienestar animal, garantizando que el progreso no se realice a expensas de los valores fundamentales de nuestra sociedad (Holland, 2003).

Referencias

- Campbell, K. H. S., McWhir, J., Ritchie, W. A., & Wilmut, I. (1996). Sheep cloned by nuclear transfer from a cultured cell line. *Nature*, 380(6569), 64-66.
- Holland, S. (2003). *Bioethics: A Philosophical Introduction*. Polity.
- Lanza, R. P., Cibelli, J. B., & West, M. D. (2000). Human therapeutic cloning. *Nature Medicine*, 6(1), 31-32.
- Shiels, P. G., Kind, A. J., Campbell, K. H., Waddington, D., Staines, M. E., Wilmut, I., ... & Colman, A. (1999). Analysis of telomere lengths in cloned sheep. *Nature*, 399(6734), 316-317.
- Takahashi, K., & Yamanaka, S. (2006). Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*, 126(4), 663-676.
- Wilmut, I., Schnieke, A. E., McWhir, J., Kind, A. J., & Campbell, K. H. S. (1997). Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature*, 385(6619), 810-813.

EDICIÓN GENÉTICA EN HUMANOS: EL CASO DE LAS GEMELAS INMUNES AL VIH



Iram P. Rodríguez Sánchez^{1*}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán, San Nicolás de los Garza, 66455, México.

* Correspondencia: Dr. Iram Pablo Rodríguez-Sánchez, iramrodriguez@gmail.com (ORCID: 0000-0002-5988-4168)

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán, San Nicolás de los Garza, 66455, México. Comutador 01 (81) 8329-4110 / Fax 01 (81) 8376-2813

Resumen

En 2018, He Jiankui, un científico chino, anunció el nacimiento de dos gemelas cuyos genomas habían sido modificados mediante la técnica CRISPR-Cas9 (Doudna & Sternberg, 2017), esto con el fin de hacerlas inmunes al VIH. Al replicar la mutación CCR5-Δ32 en los embrones buscaba protegerlas del virus transmitido por su padre (Nekadi, 2024). Este avance científico desató intensos debates éticos, científicos y legales, resaltando tanto el potencial de la edición genética como los riesgos asociados a su uso en humanos.

Este trabajo analiza los fundamentos científicos, el proceso experimental, las implicaciones éticas y el impacto futuro de esta intervención controvertida.

Introducción

La edición genética se erige como uno de los desarrollos más significativos en la biotecnología moderna, proporcionando herramientas para modificar secuencias específicas del ADN con una precisión sin precedentes. Sin embargo, su aplicación en humanos, especialmente en etapas embrionarias, plantea dilemas éticos complejos. El nacimiento de las gemelas Lulu y Nana, cuyos genomas fueron modificados por He Jiankui utilizando CRISPR-Cas9 para realizar una mutación protectora contra el VIH, marcó un hito en la historia de la ciencia. Aunque prometedor, este experimento generó una oleada de críticas debido a la falta de consenso ético y regulatorio, así como a sus potenciales implicaciones científicas y sociales (Santillán-Doherty *et al.*, 2020).

Fundamentos científicos

El gen CCR5 codifica una proteína presente en la superficie de ciertas células del sistema inmunológico, como los linfocitos T. Esta proteína actúa como un receptor que el VIH utiliza para ingresar a las células y propagarse. En ciertas poblaciones, principalmente europeas, se ha identificado una mutación conocida como CCR5-Δ32. Esta alteración genética elimina 32 pares de bases en el gen CCR5, resultando en una proteína no funcional. Las personas con dos copias de esta mutación son resistentes al VIH, ya que el virus no puede utilizar esta "puerta de entrada" para infectar las células. Inspirado por este fenómeno, He Jiankui decidió replicar esta mutación en embrones humanos mediante CRISPR-Cas9, una herramienta molecular que permite cortar y editar secuencias específicas del ADN. Su intención era conferir a las gemelas una resistencia similar, protegiéndolas de la transmisión del VIH por parte de su padre.



Imagen ilustrativa / Fuente: Creada por IA. Chat GPT, OpenAI, 2025.

El proceso de edición genética

El experimento de He Jiankui comenzó con la fertilización in vitro de embrones que posteriormente fueron editados utilizando CRISPR-Cas9. Este sistema incluye una molécula guía de ARN que identifica la secuencia genética a modificar y una proteína Cas9 que corta el ADN en esa ubicación específica. En este caso, la herramienta fue dirigida al gen CCR5 para modificarlo, imitando la mutación CCR5-Δ32. Los embrones modificados se implantaron en el útero de la madre, culminando en el nacimiento de las gemelas. Según Jiankui, este procedimiento fue realizado para proteger a las niñas de una posible transmisión del VIH, aunque los detalles completos de su metodología y resultados permanecen en disputa.

Controversias éticas y legales

El experimento de He Jiankui desató una ola de críticas en la comunidad científica y la sociedad en general. En 2019, el científico fue condenado por practicar medicina ilegal y sentenciado a tres años de prisión.

Las principales preocupaciones éticas incluyeron:

- **Falta de consenso regulatorio:** La edición genética en humanos, especialmente en embrones, carece de un marco ético y legal universal.

- **Riesgos científicos:** La edición genética puede causar efectos fuera del objetivo, conocidos como “off-target effects”, que podrían resultar en mutaciones no deseadas o consecuencias desconocidas a largo plazo.
- **Implicaciones sociales:** Existe el temor de que estas tecnologías puedan ser utilizadas para crear desigualdades sociales, como el acceso a “mejoras” genéticas que solo estarían disponibles para sectores privilegiados.
- **Impacto en generaciones futuras:** Las modificaciones genéticas realizadas en embriones son hereditarias, lo que significa que los cambios introducidos podrían transmitirse a las próximas generaciones sin conocimiento de sus efectos completos.

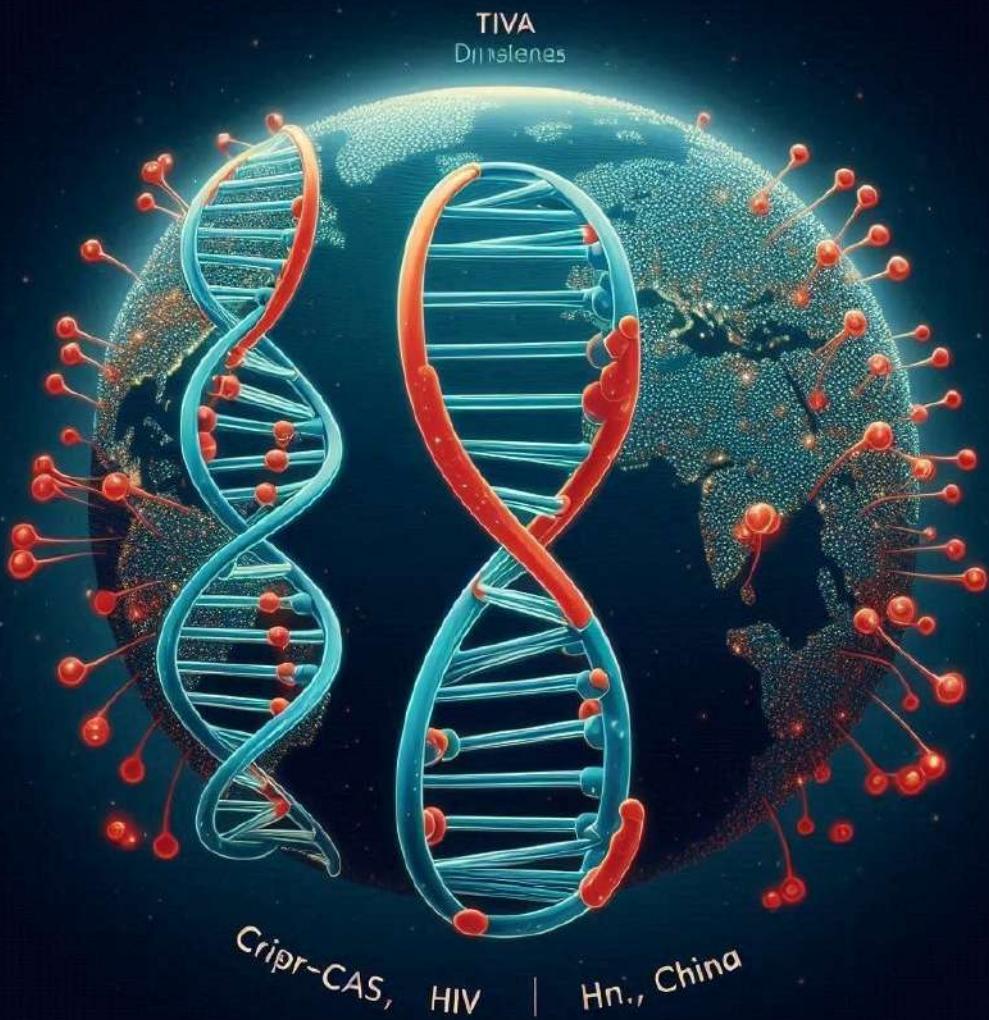
Impacto y potencial futuro

Aunque el caso de las gemelas se llevó a cabo de manera cuestionable, subraya el enorme potencial de la edición genética para transformar la medicina.

Entre los posibles beneficios de esta tecnología se encuentran:

- **Prevención de enfermedades hereditarias:** La edición genética podría eliminar mutaciones causantes de enfermedades como fibrosis quística, distrofia muscular o talasemia.
- **Aumento de la resistencia a infecciones:** Como en el caso del VIH, otras enfermedades infecciosas podrían ser prevenidas mediante modificaciones genéticas.
- **Medicina personalizada:** La edición genética tiene el potencial de personalizar tratamientos para adaptarse a las necesidades genéticas únicas de cada individuo.

Sin embargo, para alcanzar estos beneficios, es crucial desarrollar regulaciones claras que garanticen la seguridad y equidad en su uso. Además, se requiere un diálogo global que involucre a científicos, gobiernos y sociedad civil para definir los límites éticos de estas intervenciones.





Conclusión

El caso de las gemelas inmunes al VIH ilustra tanto las posibilidades como los peligros de la edición genética en humanos. Aunque CRISPR-Cas9 representa una herramienta poderosa con el potencial de transformar la medicina, su uso debe ser cuidadosamente regulado para evitar riesgos innecesarios y garantizar que los avances científicos beneficien a la humanidad de manera ética y equitativa. Este caso es un recordatorio de la responsabilidad que tienen los científicos al utilizar tecnologías disruptivas y de la necesidad de un enfoque global para abordar los desafíos éticos, legales y sociales que estas plantean.

Implicaciones adicionales

- Consideraciones económicas:** La aplicación de la edición genética podría tener un impacto significativo en el sistema de salud y la economía global. La accesibilidad y los costos asociados con estos tratamientos deben ser considerados para evitar desigualdades.

- Educación y concienciación:** Es fundamental aumentar la educación y la concienciación pública sobre la edición genética, sus beneficios y riesgos, para fomentar un debate informado y ético.
- Cooperación internacional:** La creación de un marco regulatorio global requiere la cooperación entre países y organizaciones internacionales para garantizar que los avances en edición genética se utilicen de manera responsable y beneficiosa para toda la humanidad.

Referencias

- Doudna, J., & Sternberg, S. (2017). *A Crack in Creation: Gene Editing and the Unthinkable Power to Control Evolution*.
- Nekadi, P. (2024). Can we use CRISPR-Cas9 to shape the humans of tomorrow? The case of genetically edited HIV-resistant twins. *O ČEM TAKÉ*, 75.
- Santillán-Doherty, P., et al. (2020). Considerations on genetic engineering: regarding the birth of twins subjected to gene edition. *Gac Med Mex*, 156(1), 53-59.

EDICIÓN GENÉTICA EN ANDI:

INNOVACIONES RECIENTES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Iram P. Rodríguez Sánchez^{1*}

¹Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán, San Nicolás de los Garza, 66455, México.

* Correspondencia: Dr. Iram Pablo Rodríguez-Sánchez, iramrodriguez@gmail.com (ORCID: 0000-0002-5988-4168)
Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León
Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66455 México.
Comutador 01 (81) 8329-4110 / Fax 01 (81) 8376-2813

Introducción

La ingeniería genética ha revolucionado la investigación biomédica, permitiendo la creación de modelos animales que emulan enfermedades humanas con el fin de implementar tratamientos que corrijan estas condiciones patológicas y entender los factores que influyen en el desarrollo de dichas enfermedades. En este sentido los ratones han sido los modelos más implementados en este campo, pero las limitaciones de similitud genética y fisiológica con los humanos han impulsado la utilización de primates no humanos (PNH). Debido a su mayor proximidad evolutiva y biológica con los humanos (hasta un 93% de similitud en el genoma), se han convertido en herramientas cruciales para el estudio de enfermedades complejas y el desarrollo de terapias. El primer gran avance en la edición genética de PNH ocurrió en 2001 con el nacimiento de ANDi (nombre dado por las siglas de "Inserted DNA" al revés), un mono rhesus que expresaba el gen de la proteína fluorescente verde (GFP), siendo este un gen exógeno al genoma del mono ya que proviene de la medusa *Aequorea victoria*. El desarrollo de ANDi marcó un hito en la biología experimental y para lograrlo el equipo de investigadores liderado por Anthony W.S. Chan utilizó una combinación innovadora de técnicas derivadas de experimentos previos en otros mamíferos. Para esta modificación genética los investigadores inyectaron un vector retroviral que contenía el gen de la proteína fluorescente verde (GFP) en óvulos de macaco rhesus. Este gen estaba bajo el control de promotores como el citomegalovirus (CMV) y el factor de elongación humana EF1 α para maximizar la expresión del transgén. Posteriormente los óvulos fueron fertilizados mediante inyección intracitoplasmática de esperma (ICSI), una técnica desarrollada inicialmente en ganado para superar las dificultades asociadas con la inyección pronuclear en primates. De los 224 óvulos manipulados, 166 se fertilizaron con éxito y 40 embriones fueron transferidos a 20 hembras rhesus sustitutas. De estas, cinco resultaron embarazadas, con tres nacimientos vivos, de los cuales solo uno, ANDi, portaba el transgén. Aunque ANDi fue el único portador del gen GFP, no mostró fluorescencia visible en los tejidos al momento de su nacimiento. Sin embargo, pruebas de PCR confirmaron la presencia del transgén en múltiples tejidos como sangre, orina y pelo. Por otra parte, en un feto transgénico no viable también se detectó expresión de GFP en folículos pilosos y uñas. Al final estos resultados sugirieron que el gen era funcional pero su expresión dependía de factores como el sitio de integración en el genoma y la maduración del animal.

Perspectiva histórica y relevancia científica

En su época, el nacimiento de ANDi provocó un debate mediático y científico significativo. Mientras algunos lo consideraron una prueba de concepto para la posibilidad de modificar genéticamente primates, otros señalaron las limitaciones del estudio como la baja eficiencia de la modificación ya que solo un 0.45% de los óvulos manipulados resultó en un primate transgénico viable. Así como la expresión limitada debido a la falta de fluorescencia visible en ANDi, lo que planteó dudas sobre la estabilidad y funcionalidad del transgén. Por último, se señalaba que el método utilizado no controlaba la integración del gen en el genoma, lo terminaba por afectar la expresión y estabilidad del transgén. A pesar de estas limitaciones, la creación de ANDi demostró que era posible modificar genéticamente primates, lo que abrió la puerta al desarrollo de modelos más avanzados en investigación biomédica. En retrospectiva, ANDi fue un pequeño paso técnico pero un gran salto conceptual hacia la biología traslacional. Desde entonces, la tecnología ha avanzado considerablemente con la incorporación de métodos como CRISPR/Cas9, TALEN y ZFN, que hoy en día ofrecen una mayor precisión y eficiencia.

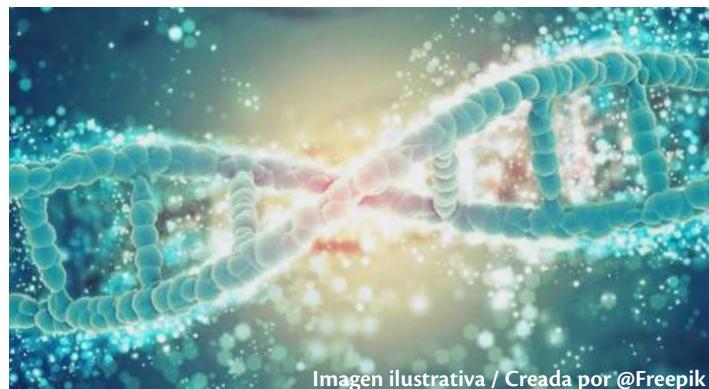


Imagen ilustrativa / Creada por @Freepik

Avances recientes

Cuando se habla de las principales tecnologías de edición genética se pueden dividir en dos tipos principalmente: Técnicas Clásicas y Modernas. Dentro de las Técnicas Clásicas de edición se encuentra el uso de retrovirus y vectores lentivirales (como el usado en la modificación de ANDi) para integrar genes en el genoma y métodos de interferencia por ARN para silenciar genes específicos. Sin embargo, presentan algunas limitaciones como baja eficiencia, integración aleatoria, expresión inestable y quimerismo significativo.

En contraparte las Técnicas Modernas disponibles actualmente son:

- CRISPR/Cas9: Tecnología basada en ARN guía que permite cortes precisos en el ADN, logrando modificaciones genéticas eficientes y dirigidas.
- TALEN: Reconocimiento específico de ADN con menor probabilidad de efectos fuera del objetivo, pero con un diseño más laborioso y costoso.
- ZFN: Técnica pionera que combina dedos de zinc para la unión al ADN con nucleasas, aunque tiene menor precisión y mayores costos que CRISPR y TALEN. Desde ANDi, los avances en este campo incluyeron investigaciones como:
 - Macacos transgénicos con el gen HTT humano para la enfermedad de Huntington.
 - Monos cynomolgus con mutaciones en SHANK3 mediante CRISPR/Cas9, asociados al autismo.
 - Modelos de microcefalia generados con TALEN, imitando el desarrollo cerebral humano.
 - Estudio de enfermedades metabólicas como la β-talasemia y trastornos circadianos gracias a modificaciones con CRISPR/Cas9.
 - Otros estudios que han permitido estudiar enfermedades como el síndrome de Rett, la microcefalia, el cáncer y enfermedades neurodegenerativas.

Conclusión

La edición genética en primates no humanos representa una herramienta poderosa en la biomedicina moderna. Aunque los desafíos técnicos, éticos y económicos son significativos, los beneficios potenciales para el tratamiento de enfermedades humanas justifican la inversión continua en esta área. El futuro promete avances aún más impactantes gracias a las innovaciones tecnológicas y un debate ético más robusto, por lo que es de esperar que estos modelos genéticamente editados sigan desempeñando un papel crucial en la investigación biomédica, acercándonos cada vez más a soluciones efectivas para enfermedades que afectan a millones de personas en todo el mundo.

Referencias

- Dunnett S. B. (2001). Reverse transcription of inserted DNA in a monkey gives us ANDi. *Trends in pharmacological sciences*, 22(5), 211–215. [https://doi.org/10.1016/s0165-6147\(00\)01707-7](https://doi.org/10.1016/s0165-6147(00)01707-7)
- Liang, W., He, J., Mao, C., Yu, C., Meng, Q., Xue, J., Wu, X., Li, S., Wang, Y., & Yi, H. (2022). Gene editing monkeys: Retrospect and outlook. *Frontiers in cell and developmental biology*, 10, 913996. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.913996>

Aplicaciones

Sin duda los modelos de PNH editados genéticamente son valiosos para: la medicina translacional, ya que ayudan a identificar dianas terapéuticas y probar medicamentos para enfermedades humanas complejas; enfermedades neurodegenerativas con estudios en modelos de Parkinson y Alzheimer que han sido esenciales para comprender sus mecanismos y explorar nuevas terapias; cáncer, con modelos genéticos que permiten evaluar la progresión tumoral y probar tratamientos en un entorno biológico más realista. Por último, la combinación de la edición genética con tecnologías como la transferencia nuclear ha abierto nuevas posibilidades para crear modelos de enfermedad más precisos y consistentes.

ENFRENTANDO AL DENGUE: DE LA AMENZA A LA ACCIÓN



Mariana Lizbeth Jiménez Martínez¹, Gerardo de Jesús Trujillo-Rodríguez¹, Adriana E. Flores-Suárez², Iram P. Rodríguez Sánchez^{1*}

¹Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán, San Nicolás de los Garza, 66455, México.
mariana.jimenez80@gmail.com (ORCID: 0000-0001-6095-8817)
entogerry36@gmail.com (ORCID: 0000-0003-1733-7366)

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Zoología de Invertebrados, Laboratorio de Entomología Médica. Av. Universidad, S/N CD. Universitaria, 66455 San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
adriana.floressr@uanl.edu.mx (ORCID: 0000-0001-8554-8865)

* Correspondencia: Dr. Iram Pablo Rodríguez-Sánchez, iramrodriguez@gmail.com (ORCID: 0000-0002-5988-4168)
Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66455 México. Comutador 01 (81) 8329-4110 / Fax 01 (81) 8376-2813

Resumen

Del dengue, una enfermedad viral transmitida a los humanos por la picadura de mosquitos infectados del género *Aedes*, ha experimentado un aumento significativo debido a la globalización y la propagación de los vectores. Esta enfermedad es prevalente en unos 100 países tropicales y subtropicales, representando un gran desafío para la salud pública a nivel mundial. Las estrategias de prevención y control del dengue, buscan reducir su transmisión mediante programas de control de vectores, iniciativas de participación comunitaria y enfoques innovadores como el control biológico utilizando depredadores naturales y la modificación genética de los mosquitos.

Introducción

La globalización ha intensificado la propagación de enfermedades infecciosas a poblaciones que carecen de inmunidad natural. Este fenómeno contribuye a un aumento en la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores, como los mosquitos, que son portadores de numerosos patógenos humanos que causan la muerte o debilitan a millones de personas anualmente (Patterson *et al.*, 2016; Smith *et al.*, 2016).

Los virus transmitidos por mosquitos, conocidos como arbovirus, han afectado a la humanidad durante miles de años. De todos ellos, cuatro han sido particularmente notorios por la gravedad de las enfermedades que causan y el número de personas afectadas: los virus causantes de la fiebre amarilla (YFV), el dengue (DENV), la fiebre chikungunya (CHIKV) y la fiebre zika (ZIKV) (Powell, 2018).

El dengue, causado por virus de la familia Flaviviridae, puede manifestarse en formas graves que resultan mortales y representa una de las principales causas de hospitalización a nivel mundial, generando un significativo impacto socioeconómico (Lam *et al.*, 2012).

En el 2009, la Organización Mundial de la Salud reportó que los casos de dengue habían aumentado treinta veces en los últimos 50 años. Al año siguiente, se estimó que se producían entre 50 y 100 millones de infecciones anualmente, cifra que podría ser aún mayor debido a la subnotificación en los servicios de salud (WHO, 2009; Guzmán *et al.*, 2010; Beatty *et al.*, 2010).

Biología del Virus Dengue

El genoma del virus del dengue (Figura 1) está compuesto por una cadena de ARN de sentido positivo que tiene una longitud aproximada 11 kilobases (kb). Este ARN es responsable de codificar tres proteínas estructurales (C, prM y E) que constituyen los componentes del virión. Además, codifica siete proteínas no estructurales (NS1, NS2A/B, NS3, NS4A/B, NS5) que desempeñan un papel crucial en la replicación del ARN viral (Gebhard, Filomatori & Gamarnik, 2011).

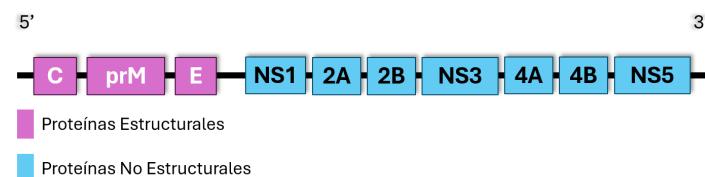


Figura 1. Representación gráfica del genoma del virus Dengue (DENV).

Proteínas Estructurales

a) Proteína de la cápside

La proteína de la cápside (C) del virus del dengue (DENV) juega un papel esencial en la encapsulación específica de su genoma de ARN. Ma *et al.* (2004) describieron la estructura en solución de un homodímero de 200 residuos de esta proteína en DENV-2.

b) Proteína de membrana

La proteína de membrana del virus del DENV es clave en la disposición y maduración de la partícula viral. Compuesta por 81 residuos, su estructura incluye siete hebras β antiparalelas estabilizadas por tres enlaces disulfuro. Cada virión maduro está revestido por 180 copias de las proteínas de envoltura y de membrana (Perera & Kuhn, 2008).

c) Proteína de envoltura

La proteína de envoltura del DENV se encuentra en la superficie del virión y es esencial para la unión inicial del virus a la célula huésped. La infectividad del DENV depende de su interacción con el heparán sulfato presente en la célula objetivo (Chen, *et al.*, 1997).

Proteínas No Estructurales

a) Proteína No Estructural 1 (NS1)

La NS1 es una glicoproteína no estructural de los flavivirus, de aproximadamente 48 kDa, con seis enlaces disulfuro intramoleculares constantes. Se expresa en la superficie celular y se secreta al espacio extracelular, donde participa en mecanismos de evasión inmunológica y

juega un papel crítico en la replicación viral, incluyendo su interacción con la heparina y el heparán sulfato (Smith & Wright, 1985; Fan *et al.*, 2014).

b) *Proteína No Estructural 2A (NS2A)*

En los flavivirus, la NS2A es una proteína hidrofóbica de 22 kDa que forma parte del complejo de replicación viral y juega un papel fundamental en el ensamblaje del virión y en la modulación de la respuesta inmunitaria del huésped. Se ha identificado que NS2A participa tanto en la síntesis de ARN como en el ensamblaje del virión (Leung *et al.*, 2008; Xie *et al.* 2015).

c) *Proteína No Estructural 3 (NS3)*

NS3 es una enzima multifuncional del DENV que desempeña varias actividades clave en la replicación y procesamiento del ARN viral; incluyendo funciones de helicasa, nucleósido trifosfatasa (NTPasa) y ARN trifosfatasa (RTPasa) (Carocci *et al.*, 2015).

d) *Proteína No Estructural 4A y 4B (NS4A y NS4B)*

NS4A y NS4B son proteínas integrales de la membrana del retículo endoplásmico, cruciales para la replicación del DENV. Estas proteínas facilitan la formación del complejo de replicación y regulan las interacciones entre el virus y el huésped (Teo, *et al.*, 2014; Zou *et al.*, 2015).

e) *Proteína No Estructural 5 (NS5)*

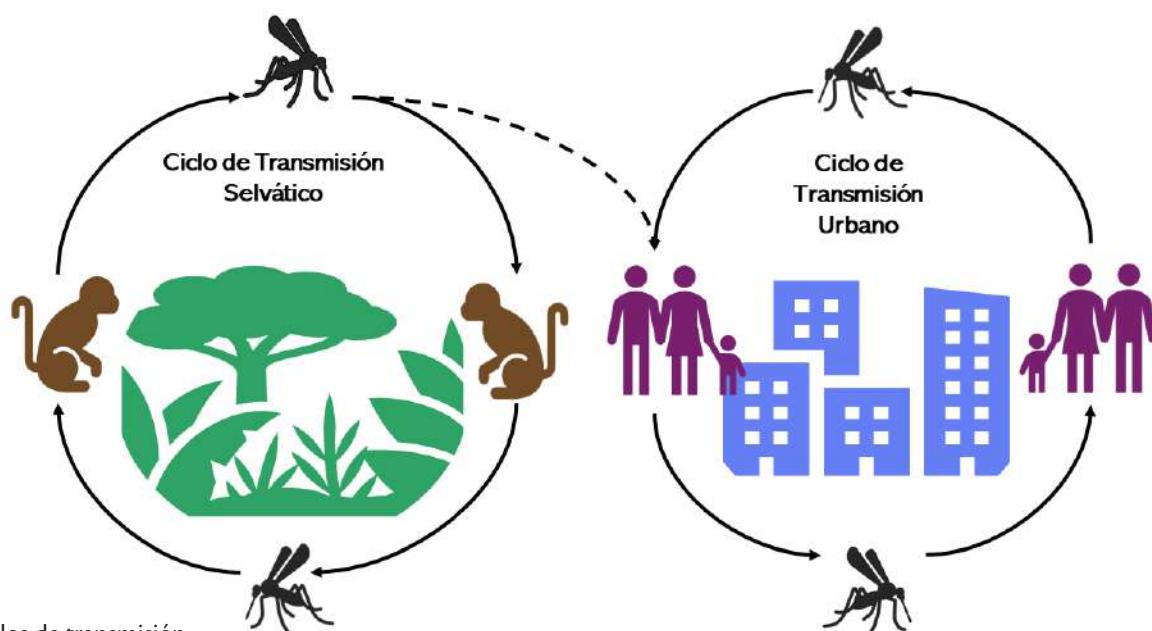
La NS5, la proteína más grande de los flavivirus con 900 residuos de aminoácidos, es esencial para las funciones enzimáticas del DENV. Sus dominios N-terminal MTase y C-terminal RdRp la convierten en un objetivo importante para el desarrollo de antivirales (Brooks, *et al.*, 2002).

El papel del mosquito y la propagación del virus

El mosquito *Aedes aegypti*, originario de África, todavía encuentra en los bosques y ecotonos del continente condiciones idóneas para la cría de sus poblaciones ancestrales. La práctica humana de almacenar agua en recipientes durante todo el año en aldeas y ciudades africanas creó entornos ideales para la producción de larvas de mosquito, especialmente durante las estaciones secas prolongadas (Lounibos, 1981; McBride *et al.*, 2014).

Los mosquitos del género *Aedes* son clave en la diseminación del dengue, destacándose *Aedes aegypti* por su eficiencia como especie invasora y vector de la enfermedad (Brady & Hay, 2020). La expansión de *Ae. aegypti* está relacionada directamente con los registros epidemiológicos. Desde el XVI, embarcaciones europeas con destino al Nuevo Mundo recalaron en África Occidental para reclutar nativos africanos en el comercio de esclavos, contribuyendo a la dispersión del mosquito (Eltis & Richardson, 2010).

El DENV se propaga en zonas urbanas a través de un ciclo de transmisión urbano, el cual ha sido reportado en 128 países, siendo *Ae. aegypti* y *Aedes albopictus* los principales vectores. En contraste, en regiones selváticas, el ciclo de transmisión domina, observado principalmente en las junglas del sudeste asiático y África occidental. En estas áreas, *Aedes luteocephalus*, *Aedes furcifer* y *Aedes taylori* son los vectores predominantes (Figura 2) (Chen & Vasilakis, 2011).



Epidemiología

El dengue es transmitido por mosquitos y afecta a aproximadamente 100 países tropicales y subtropicales en Asia, el Pacífico, las Américas, África y el Caribe. Representa la enfermedad viral transmitida por mosquitos más común y de propagación más rápida (CDC, 2014; WHO, 2011). En 2009, la OMS clasificó la fiebre del dengue como una enfermedad febril aguda. Además, el virus del dengue se categoriza en cuatro serotipos según la antigenicidad de su proteína de envoltura viral E (DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DENV-4). Cada uno de estos serotipos puede causar fiebre del dengue, fiebre hemorrágica del dengue o síndrome de choque del dengue (Bodinayake, *et al.*, 2018). Estos serotipos mantienen una similitud de aproximadamente el 65% en su secuencia de aminoácidos y se dividen en genotipos basados en una divergencia no mayor al 6% en su secuencia nucleotídica (Wang *et al.*, 2000). Globalmente, el DENV-1 se clasifica en 5 genotipos, mientras que los serotipos DENV-2, DENV-3 y DENV-4 se clasifican cada uno en cuatro genotipos distintos (Figura 3).

El período de incubación del dengue varía de 3 a 14 días tras la picadura del mosquito y las infecciones primarias pueden ser asintomáticas. Según la OMS (2009), el dengue se divide en tres categorías: sin signos de advertencia, con signos de advertencia y grave. El dengue sin signos de advertencia se caracteriza por fiebre alta, posible erupción maculopapular, síntomas gastrointestinales (GI), síntomas respiratorios y dolor en los huesos. El dengue con signos de advertencia incluye los síntomas mencionados anteriormente, además de dolor abdominal severo, hipotermia, signos de hemorragia, alteraciones de la función mental y signos tempranos de shock, como hemoconcentración, ascitis o derrame pleural. Los pacientes con dengue grave experimentan shock, dificultad respiratoria y sangrado severo, además de falla orgánica (Khetarpal & Khanna, 2016).

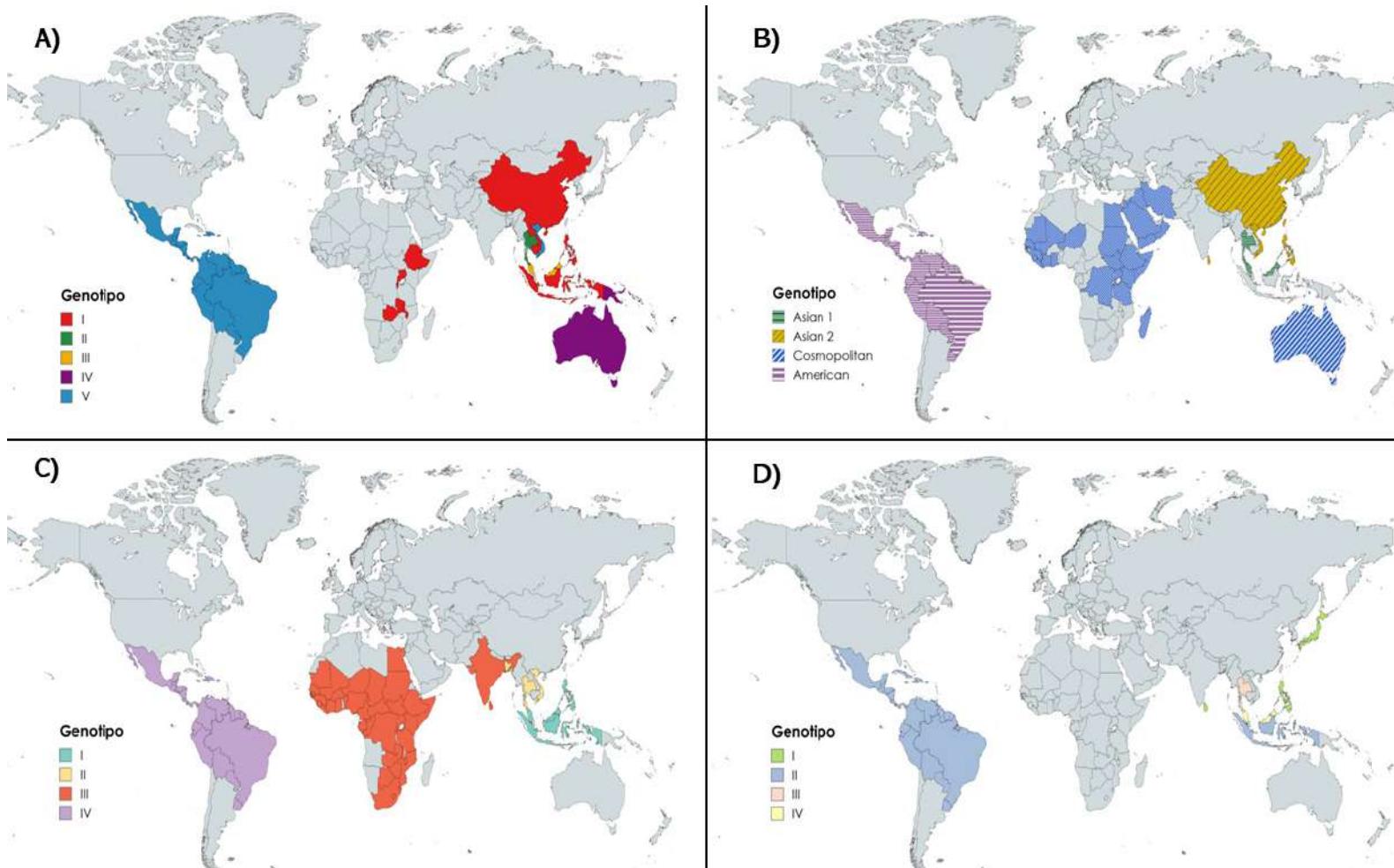


Figura 3. Distribución Geográfica de los Genotipos y serotipos de DENV. A) DENV-1 B) DENV-2 C) DENV-3 D) DENV-4 (Harapan *et al.*, 2020)

Estrategias de prevención y control del dengue

Los programas de control de vectores han sido pilares en la lucha contra la transmisión del dengue y otras enfermedades transmitidas por mosquitos, aunque enfrentan desafíos por la expansión geográfica del vector y el aumento de casos de dengue (Pang, Mak & Gubler, 2017).

Desde la década de 1980, se ha intensificado el enfoque en los programas de control comunitario; sin embargo, las investigaciones sobre su implementación han sido escasas. Un estudio en 2015, mostró resultados prometedores sobre el impacto de la movilización social para prevenir el dengue. En este estudio liderado por la comunidad, se evaluó el efecto de la enfermedad a nivel comunitario, empleando tanto serología como reportes personales de dengue, además de indicadores entomológicos. Realizado a lo largo de tres años, el estudio proporcionó evidencias consistentes en dos países distintos con programas adaptados localmente sobre el impacto de las comunidades en la prevención y manejo de la enfermedad (Andersson *et al.*, 2015).

El uso de larvicidas como el organofosfato temefos y biolarvicidas, particularmente *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), ha sido extenso. Sin embargo, la variabilidad en métodos de aplicación y la ausencia de medición de impacto clínico en la transmisión dificultan la validación de su efectividad (Tan *et al.*, 2012, Boyce *et al.*, 2013).

Por otro lado, el control biológico se ha centrado en el uso de varios predadores naturales como ninfas de libélula y otros invertebrados acuáticos autóctonos, además de mosquitos *Toxorhynchites* spp., que se alimentan de larvas y pupas mosquitos. Los peces mosquito, como *Gambusia affinis* y *G. holbrooki* y ciertas especies de killifishes (*Fundulus* spp y *Rivulus* spp), son ampliamente usadas en áreas de pantanos y en la gestión de estanques (Courtenay Jr. & Meffe, 1989).

En la última década, se ha explorado enfoques innovadores, incluyendo estrategias biológicas, genéticas y conductuales. Una de las técnicas más prometedoras es la infección de mosquitos *Ae. aegypti* con cepas de la bacteria *Wolbachia*, que reduce la fecundidad y longevidad de los mosquitos y bloquea la replicación del virus del dengue. Mosquitos infectados en laboratorio se liberan para transformar y suprimir las poblaciones de *Aedes*, reducir la transmisión del dengue y potencialmente otras enfermedades transmitidas por estos vectores (Ferguson *et al.*, 2015).

La liberación de mosquitos genéticamente modificados representa otra estrategia innovadora. En este enfoque, los machos portan un gen letal conocido como RIDL (Release of Insects Carrying a Dominant Lethal). Estos machos, al aparearse con hembras silvestres, transmiten el transgén letal a los embriones, provocando la muerte de las larvas antes que puedan desarrollarse a la etapa adulta. Este método busca reemplazar o suprimir las poblaciones silvestres y así reducir la transmisión de enfermedades (Knols *et al.*, 2007).

Conclusiones y perspectivas futuras

La propagación del dengue representa un desafío significativo para la salud pública mundial, particularmente en las regiones tropicales y subtropicales, donde los mosquitos *Aedes* encuentran un hábitat ideal. Comprender la biología del virus del dengue y sus mecanismos de transmisión es esencial para desarrollar estrategias efectivas de prevención y control.

El manejo del dengue demanda un enfoque integral que combine la vigilancia, el control de vectores, la educación comunitaria, la cooperación internacional y los avances en la investigación científica. Solo a través de un esfuerzo coordinado y multidisciplinario será posible reducir la carga de esta enfermedad y proteger la salud de las poblaciones vulnerables a nivel global.

Bibliografía

- Andersson, N., Nava-Aguilera, E., Arostegui, J., Morales-Perez, A., Suazo-Laguna, H., Legorreta-Soberanis, J., ... & Harris, E. (2015). Evidence based community mobilization for dengue prevention in Nicaragua and Mexico (Camino Verde, the Green Way): cluster randomized controlled trial. *Bmj*, 351.
- Beatty, M. E., Stone, A., Fitzsimons, D. W., Hanna, J. N., Lam, S. K., Vong, S., ... & Asia-Pacific and Americas Dengue Prevention Boards Surveillance Working Group. (2010). Best practices in dengue surveillance: a report from the Asia-Pacific and Americas Dengue Prevention Boards. *PLoS neglected tropical diseases*, 4(11), e890.
- Bodinayake, C. K., Tillekeratne, L. G., Nagahawatte, A., Devasiri, V., Kodikara Arachchi, W., Strouse, J. J., ... & Reller, M. E. (2018). Evaluation of the WHO 2009 classification for diagnosis of acute dengue in a large cohort of adults and children in Sri Lanka during a dengue-1 epidemic. *PLoS neglected tropical diseases*, 12(2), e0006258.

- Boyce, R., Lenhart, A., Kroeger, A., Velayudhan, R., Roberts, B., & Horstick, O. (2013). *Bacillus thuringiensis israelensis* (B ti) for the control of dengue vectors: Systematic literature review. *Tropical Medicine & International Health*, 18(5), 564-577.
- Brady, O. J., & Hay, S. I. (2020). The global expansion of dengue: how *Aedes aegypti* mosquitoes enabled the first pandemic arbovirus. *Annual review of entomology*, 65, 191-208.
- Brooks, A. J., Johansson, M., John, A. V., Xu, Y., Jans, D. A., & Vasudevan, S. G. (2002). The interdomain region of dengue NS5 protein that binds to the viral helicase NS3 contains independently functional importin β 1 and importina/ β -recognized nuclear localization signals. *Journal of Biological Chemistry*, 277(39), 36399-36407.
- Carocci M, Kuhn JH, Yang PL, Flaviviruses: introduction to dengue viruses. In *Global Virology I-Identifying and Investigating Viral Diseases*. New York: Springer, 2015, 403-24.
- Centers for Disease Control and Prevention. Disponible en: <http://www.cdc.gov/dengue/epidemiology/>. Accesado el 04 de mayo de 2024
- Chen, Y., Maguire, T., Hileman, R. E., Fromm, J. R., Esko, J. D., Linhardt, R. J., & Marks, R. M. (1997). Dengue virus infectivity depends on envelope protein binding to target cell heparan sulfate. *Nature medicine*, 3(8), 866-871.
- Chen, R., & Vasilakis, N. (2011). Dengue—quo tu et quo vadis?. *Viruses*, 3(9), 1562-1608.
- Courtenay Jr, W. R., & Meffe, G. K. (1989). Small fishes in strange places: a review of introduced poeciliids. *Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae)*, 319-331.
- Eltis, D., & Richardson, D. (2010). Atlas of the transatlantic slave trade. *African Diaspora Archaeology Newsletter*, 13(4), 17.
- Fan, J., Liu, Y., & Yuan, Z. (2014). Critical role of Dengue Virus NS1 protein in viral replication. *Virologica Sinica*, 29, 162-169.
- Ferguson, N. M., Hue Kien, D. T., Clapham, H., Aguas, R., Trung, V. T., Bich Chau, T. N., Popovici, J., Ryan, P.A., O'Neill, S., McGraw, E., Long, V.T., Dui, L.T., Nguyen, H., Vinh Chau, N., Wills, B., & Simmons, C. P. (2015). Modeling the impact on virus transmission of Wolbachia-mediated blocking of dengue virus infection of *Aedes aegypti*. *Science translational medicine*, 7(279), 279ra37-279ra37.
- Gebhard, L. G., Filomatori, C. V., & Gamarnik, A. V. (2011). Functional RNA elements in the dengue virus genome. *Viruses*, 3(9), 1739-1756.
- Guzman, M. G., Halstead, S. B., Artsob, H., Buchy, P., Farrar, J., Gubler, D. J., Kroeger, E., Margolis, H.S., Martínez, E., & Peeling, R. W. (2010). Dengue: a continuing global threat. *Nature reviews microbiology*, 8(Suppl 12), S7-S16.
- Harapan, H., Michie, A., Sasmono, R. T., & Imrie, A. (2020). Dengue: a minireview. *Viruses*, 12(8), 829.
- Khetarpal, N., & Khanna, I. (2016). Dengue fever: causes, complications, and vaccine strategies. *Journal of immunology research*, 2016.
- Knols, B. G., Bossin, H. C., Mukabana, W. R., & Robinson, A. S. (2007). Transgenic mosquitoes and the fight against malaria: managing technology push in a turbulent GMO world.
- Lam, S. K., Burke, D., Gubler, D., Méndez-Gálvan, J., & Thomas, L. (2012). Call for a World Dengue Day. *The Lancet*, 379(9814), 411-412.
- Leung, J. Y., Pijlman, G. P., Kondratieva, N., Hyde, J., Mackenzie, J. M., & Khromykh, A. A. (2008). Role of nonstructural protein NS2A in flavivirus assembly. *Journal of virology*, 82(10), 4731-4741.
- Lounibos, L. P. (1981). Habitat segregation among African treehole mosquitoes. *Ecological Entomology*, 6(2), 129-154.
- Ma, L., Jones, C. T., Groesch, T. D., Kuhn, R. J., & Post, C. B. (2004). Solution structure of dengue virus capsid protein reveals another fold. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(10), 3414-3419.
- McBride, C. S., Baier, F., Omondi, A. B., Spitzer, S. A., Lutomiah, J., Sang, R., Ignell, R., & Vosshall, L. B. (2014). Evolution of mosquito preference for humans linked to an odorant receptor. *Nature*, 515(7526), 222-227.
- Pang, T., Mak, T. K., & Gubler, D. J. (2017). Prevention and control of dengue—the light at the end of the tunnel. *The Lancet Infectious Diseases*, 17(3), e79-e87.
- Patterson, J., Sammon, M., & Garg, M. (2016). Dengue, Zika and chikungunya: emerging arboviruses in the New World. *Western Journal of Emergency Medicine*, 17(6), 671.
- Perera, R., & Kuhn, R. J. (2008). Structural proteomics of dengue virus. *Current opinion in microbiology*, 11(4), 369-377.
- Powell, J. R. (2018). Mosquito-borne human viral diseases: why *Aedes aegypti*? *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 98(6), 1563.

Smith, L. B., Kasai, S., & Scott, J. G. (2016). Pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: Important mosquito vectors of human diseases. *Pesticide biochemistry and physiology*, 133, 1-12.

Smith, G. W., & Wright, P. J. (1985). Synthesis of proteins and glycoproteins in dengue type 2 virus-infected vero and *Aedes albopictus* cells. *Journal of General Virology*, 66(3), 559-571.

Tan, A. W. A., Loke, S. R., Benjamin, S., Lee, H. L., Chooi, K. H., & Sofian-Azirun, M. (2012). Spray application of *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti strain AM65-52) against *Aedes aegypti* (L.) and *Ae. albopictus* Skuse populations and impact on dengue transmission in a dengue endemic residential site in Malaysia. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 43(2), 296.

Teo, C. S. H., & Chu, J. J. H. (2014). Cellular vimentin regulates construction of dengue virus replication complexes through interaction with NS4A protein. *Journal of virology*, 88(4), 1897-1913.

Wang, E., Ni, H., Xu, R., Barrett, A. D., Watowich, S. J., Gubler, D. J., & Weaver, S. C. (2000). Evolutionary relationships of endemic/epidemic and sylvatic dengue viruses. *Journal of virology*, 74(7), 3227-3234.

World Health Organization (2009) Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. Geneva (Switzerland). Disponible en: <http://www.who.int/tdr/publications/documents/dengue-diagnosis.pdf?ua51>.

World Health Organization. Epidemic, & Pandemic Alert. (2009). Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. World Health Organization.

World Health Organization (2011) Comprehensive guidelines for prevention and control of Dengue and Dengue Haemorrhagic fever. New Delhi (India): World Health Organization. Disponible en: http://apps.searo.who.int/pds_docs/B4751.pdf.

Xie, X., Zou, J., Puttikhunt, C., Yuan, Z., & Shi, P. Y. (2015). Two distinct sets of NS2A molecules are responsible for dengue virus RNA synthesis and virion assembly. *Journal of virology*, 89(2), 1298-1313.

Zou, J., Xie, X., Wang, Q. Y., Dong, H., Lee, M. Y., Kang, C., ... & Shi, P. Y. (2015). Characterization of dengue virus NS4A and NS4B protein interaction. *Journal of virology*, 89(7), 3455-3470.



Revista de Ciencias Agroalimentarias y Biotecnología
Revista de Divulgación Científica de la Facultad de Agronomía - UANL
Volumen 2 / Número 1 / Enero - Abril / 2025