

Eduardo Hernández Hernández
Marycruz Álvarez Jiménez
Editores

Veterinaria innovadora



Veterinaria innovadora: producción, normas y tecnología

Editado por

Eduardo Hernández Hernández

*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Popular Autónoma de Veracruz*

Marycruz Álvarez Jiménez

*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Popular Autónoma de Veracruz*

Primera edición

© 2026, Editorial Mesófilo

Editorial Mesófilo
Coatepec, Veracruz, México.

Todos los derechos reservados.

Reproducir este libro sin autorización expresa de la editorial o pago de los derechos correspondientes constituye un delito castigable por la Ley vigente.

Primera edición

Veterinaria innovadora: producción, normas tecnología/Eduardo Hernández Hernández, Marycruz Álvarez Jiménez, Eds.– 1ª ed.

ISBN: 979-8-90196-168-1

DOI: 10.6084/m9.figshare.32670285

Declaración de uso de inteligencia artificial y plagio

Todos los autores declararon no haber utilizado la Inteligencia Artificial para la generación de contenido. Estas herramientas se limitaron a proveer retroalimentación, guía, generación de imágenes originales y sugerencias a los autores durante el proceso de investigación y escritura.

Cada capítulo de libro fue asesorado y supervisado por un docente a través de un proceso de revisión que incluyó la verificación del desarrollo de la redacción, verificación de fuentes, análisis del porcentaje de uso de Inteligencia Artificial con el software CopyLeaks con nivel de sensibilidad 1 que implica la identificación de contenido copiado directamente de Modelos de Lenguaje Amplios (LLM) como ChatGPT o Gemini sin edición. Se omitió el análisis de referencias, citas y tablas de contenido, pues estas fueron revisadas de forma individual por el docente.

Todos los trabajos aquí contemplados fueron reconocidos como originales al presentar porcentajes mínimos de plagio según el análisis de CopyLeaks que incluyó fuentes online.

ACERCA DE ESTE LIBRO

Toda persona que se embarca en la aventura de estudiar una licenciatura o un posgrado enfrenta, inevitablemente, el desafío de escribir un documento académico. Puede tratarse de una tarea, un reporte, una síntesis, una infografía, un ensayo o un mismísimo “proyecto integrador”, pero todos tienen lo mismo en común, son el producto del estudio, comprensión e intención de compartir un mensaje. ¡Parece algo rutinario! Desafortunadamente, debido a la automatización tecnológica que vivimos, cada vez se vuelve más y más difícil lograr que un estudiante de nivel superior dedique una o dos horas a leer, analizar y sintetizar ideas dignas de ser compartidas.

El estudiantado sufre una adicción por el uso (más bien abuso) de herramientas tecnológicas que “facilitan” la generación de productos académicos, pero dificultan el aprendizaje. Estrategias como búsquedas en motores de internet con resultados poco confiables, el uso de copiar-pegar que conlleva al plagio, la generación de texto “original” con Inteligencia Artificial o el abuso del “Deep Research” en ChatGPT, Copilot o Gemini hacen que los estudiantes deterioren sus propios procesos de aprendizaje y se mantengan al margen de la adquisición de habilidades básicas en el nivel superior de la academia.

En este contexto, la presente obra es el resultado de un proceso de instrucción y acompañamiento de estudiantes de la Licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia quienes fueron desafiados a no incurrir en plagio (siendo explicado lo que esto es) ni usar la Inteligencia Artificial para generar textos. La herramienta de Inteligencia Artificial fue integrada en la dinámica de trabajo, pero limitada a su rol de retroalimentación, guía, generación de ideas, pero no de “escritor” o “autor”. Se celebraron reuniones recurrentes para la revisión del avance y sugerencias de mejora, así como verificación de las indicaciones de estilo. Al finalizar el periodo educativo, los trabajos fueron evaluados según la aplicación de los criterios editoriales y el estricto apego de la integridad académica (sin plagio, ni uso de IA).

ACERCA DE ESTE LIBRO

Así, este libro es una compilación de productos académicos que rompieron estándares en el nivel de licenciatura al evitar el plagio, seguir instrucciones y lograr algo que hoy en día parece difícil de realizar: leer, comprender y redactar sin auxilio de una inteligencia artificial. El objetivo se cristaliza en estas páginas que, ahora publicadas, no se limitan a ser parte de la evaluación de alguna materia que alguna vez cursaron en su carrera; trascenderán como parte de su trayectoria académica, serán parte de su currículum y se divulgarán hacia el mundo como una obra original de estudiantes excepcionales.

De conformidad con los principios básicos de responsabilidad, cada autor es responsable del contenido que se encuentra en el capítulo del cual se acredita como escritor.

CONTENIDO

Capítulo 1. ¿Cómo una trucha puede pigmentarse?	8
Capítulo 2. Cuando el dolor tiene cuatro patas	16
Capítulo 3. Fagoterapia en sistemas de producción animal: salud sin sacrificio	25
Capítulo 4. Entre bacterias y leyes: El papel de la Leptospira en la salud animal y humana	31
Capítulo 5. Té de lombricomposta.	39
Capítulo 6. Actinobacterias y lombricultura: Los bioingenieros de la tierra	46
Capítulo 7. El extenso mundo de los virus gigantes, molosos incomparables	54
Capítulo 8. Peces Koi y la Tanatología ¿Una herramienta terapéutica?	62
Capítulo 9. Biomedicina del Colágeno Regenerador	67
Capítulo 10. Carne de cocodrilo: El “superalimento” exótico que impulsa nuevos mercados	73
Capítulo 11. Rebuznos de tristeza: El valor y problemas del burro en México	82
Capítulo 12. Microbios al mando: La purificación perfecta del agua	89
Capítulo 13. Microorganismos para bioplásticos y escalamiento industrial	95
Capítulo 14. Biofloc para el cultivo superintensivo de Tilapia	102
Capítulo 15. Analizar bioquímicamente colágeno de piel de tilapia para uso dermatológico regenerativo en Cardel Veracruz 2025	108

CAPÍTULO 1.

¿CÓMO UNA TRUCHA PUEDE PIGMENTARSE?

Cruzado-Cardiel, Mariam¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

La trucha arcoíris es una especie de pez capaz de pigmentar sus músculos de manera similar a como lo hacen otros miembros de la familia salmónida, gracias al consumo de carotenoides en su dieta se pueden obtener colores brillantes que van del rosa pálido hasta el anaranjado intenso. Esta característica puede ser empleada por productores locales para posicionar sus productos y generar un distintivo en su granja, así como mejores ganancias al comerciar un producto novedoso.

Palabras clave. Pigmentos, carotenoides, trucha arcoíris, salmónidos, astaxantina, escala del color en salmónidos.

Introducción

En la constante búsqueda de querer mantener y mejorar nuestra salud, una de las recomendaciones médicas es el consumo de pescado, preferentemente aquellos que contengan omegas. Incorporar pescado a nuestra dieta nos aporta proteínas de fácil digestión y de alta calidad, ácido glutámico para mejorar nuestra capacidad de retención, así como vitaminas y antioxidantes.

La primera elección para consumir pescados ricos en omegas 3 es el salmón, aunque posee de un vibrante color, actualmente su costo es elevado, en México el kilogramo oscila entre \$450 y \$500 pesos. De ahí la necesidad de buscar alternativas económicamente más viables y preferentemente de producción regional o local que además fortalezcan la economía de la zona.

La trucha arcoíris es un pez óseo familiar de los salmones, su nombre científico es *Oncorhynchus mykiss* y que de manera natural puede distribuirse en diferentes concentraciones de sal, que van desde el mar hasta los lagos y ríos. Así, se encuentra desde la península de Alaska hasta la península de California, y al igual que el salmón puede transcurrir parte de su vida en el mar y remontarse en ríos de agua

dulce para su apareamiento o pasar toda su vida en el agua dulce.

Al ser una especie de fácil adaptación y crianza, su producción es altamente difundida en nuestro país, principalmente en zonas templadas con aguas frescas y de buena oxigenación.

Su historia en nuestro territorio se remonta en el siglo XX, cuando se introduce para reprobar ambientes naturales en ríos y embalses con el objetivo de pesca comercial y recreativa. En nuestro país, fue en el Estado de México en 1943, cuando se explotó por primera vez de manera comercial a gran escala en el centro acuícola el Zarco. Actualmente esta especie se encuentra en el listado de especie exóticas e invasoras para México indicado en el Diario Oficial de la Federación.

Según la Comisión Nacional de Pesca en el año 2014, se produjeron más de 19,000 toneladas de trucha en nuestro país. Los principales estados productores de este pescado fueron Michoacán con el 34%, el Estado de México con el 25% y nuestro estado, Veracruz con el 16%. Así mismo, calculan que el crecimiento promedio anual para la producción de trucha es del 9.16%.

La trucha debido a su fácil manejo, admite tener un modelo productivo que va desde unidades fáciles de traspaso hasta grandes producciones, en nuestro estado la mayor producción se lleva a cabo en el centro de Veracruz donde el clima y agua lo permiten, en donde el esquema de producción son principalmente operaciones familiares, rústicas y a pequeña escala, es decir trabajan con una demanda local, las truchas que se ofrecen casi siempre están destinadas a restaurantes locales o regionales principalmente; así las familias pueden mantener su modo de vida y tener un ingreso extra, sin embargo, existe alta competencia zonal. Una buena alternativa para mejorar la rentabilidad de estas unidades de producción de truchas e incorporar al mercado un producto novedoso es producir trucha asalmonada que, además de tener una presentación más vibrante y atractiva para el consumidor, permite a los productores diferenciarse de la competencia.

¿Cómo una trucha se puede pigmentar y parecer un salmón?

Recordemos que tanto las truchas como los salmones, pertenecen a la misma familia, los salmónidos. Esta familia tiene la capacidad genética de almacenar pigmentos en sus músculos,

en su piel y hasta en las células que formarán sus óvulos.

Los pigmentos proporcionan ese color anaranjado vibrante o rosáceo a la carne. Los principales pigmentos que se emplean para pigmentar sus músculos son los carotenoides.

¿Qué son los carotenoides?

Los carotenoides son pigmentos orgánicos, es decir naturales, que químicamente están formados por 40 carbonos. Estos pigmentos se pueden disolver, principalmente en grasas y el color que aportan es en la gama de los colores cálidos que van desde el amarillo pálido, pasando por el anaranjado hasta llegar a un rojo oscuro o intenso.

Los carotenoides se producen principalmente en las plantas que realizan la fotosíntesis, sin embargo, existen otros organismos como pueden ser bacterias, hongos, levaduras, algas o microalgas que también los generan.

Es importante mencionar que nosotros, no podemos producir los carotenoides los cuales son indispensables para la vida. Debemos obtenerlos a partir de los alimentos que consumimos. Actualmente los científicos conocen alrededor de 700 tipos de carotenoides, de los cuales más de la tercera parte son de origen marino.

La mayor importancia biológica de los carotenoides es que sirven como antioxidantes, también son precursores de la vitamina A la cual permite una buena vista, mejora la respuesta del sistema inmunológico estimulando la producción de glóbulos blancos en la sangre y la actividad de los macrófagos quienes son encargados de comer microorganismos patógenos en nuestro cuerpo.

Muchos de los sistemas productivos de salmón, langosta, cangrejo, camarón y trucha, añaden carotenoides a su dieta, esto a fin de pigmentar más su músculo o exoesqueleto y facilitar una coloración atractiva de sus tejidos. Con ello se obtienen una ganancia mayor en el producto final (Figura 1).

Los pigmentos que se añaden a su

alimentación puede tener dos orígenes, unos son naturales y otros son sintéticos.

Dentro de los pigmentos naturales se emplea harina de pequeños crustáceos marinos llamados krill, también usan a las levaduras como la llamada científicamente *Phaffia rhodozyma*, microalgas como *Haematococcus pluvialis*, macro algas como *Macrocytis* sp. o incluso algunas verduras como el pimiento morrón rojo cuyo nombre científico es *Capsicum annum* o flores de cempasúchil del género *Tagetes*.

Los científicos han encontrado que los salmones silvestres tienen alrededor de 20 carotenoides diferentes. Uno de los más predominantes es la astaxantina que proviene de los alimentos que consumen.

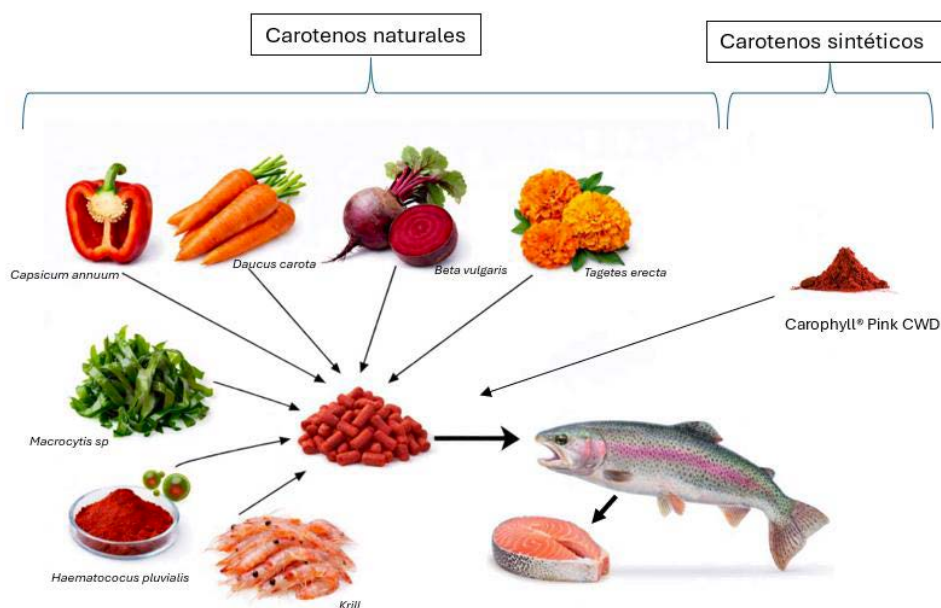


Figura 1. Carotenos naturales y sintéticos empleados para pigmentar organismos acuáticos.

En condiciones de cultivo, su alimento es complementado con astaxantina y cantaxantina sintética para que los peces puedan tener un color más llamativo e intenso. El costo de suplementar las dietas de los peces con estos carotenoides es elevado, aproximadamente es el 60% del costo de producción del animal.

Los científicos han investigado los factores pueden determinar el grado de intensidad en el color del animal. Los estudios han demostrado que el tamaño del pez influye ya que a partir de qué pesan 100 gramos, el pigmento es transportado al músculo. Su edad también es importante, no olvidemos que la calidad y la fuente de los carotenoides influyen en el color, así como su tasa, es decir, si el pigmento es natural o sintético y la concentración que han usado para alimentarlos. La calidad del alimento también es un factor importante sobre todo debe contener grasa suficientes y omegas para que los pigmentos se disuelvan de manera adecuada en ellos e ingresen al pez y por último las características del ambiente en el que viven deben ser las óptimas, es decir el agua, su temperatura, la cantidad de oxígeno, el nivel de amonio y las microalgas disueltas en ella influyen.

Cómo comentábamos la edad influye, es interesante saber que los

carotenoides cambian su localización en el pez en función de la edad que este tenga. Cuando los animales son juveniles o inmaduros, se localizan principalmente en la piel, cerca de la línea lateral media del pez. Conforme los peces van creciendo y madurando, estos pigmentos se mudan al músculo. En el caso de las hembras, los carotenoides son transportados a los ovocitos, es decir, a las células que formarán los óvulos, y que posteriormente serán huevos al ser fecundados. Se sabe que cuanto mayor sea la cantidad de carotenoides en los huevecillos, tendrán un mejor desarrollo y crecimiento los alevines.

Por otra parte, los científicos han encontrado que existen factores genéticos que afectan el color en los salmónidos. Estudios recientes, demuestran que la absorción de los pigmentos la controla un gen llamado *bco1* quién es el responsable de producir una enzima en las células del intestino que descomponen el pigmento llamado astaxantina, es decir, si este gen se inactiva o está ausente, la enzima no se formará y así, el pez absorberá más pigmento en su intestino y la carne tendrá un color más intenso.

Volviendo con la astaxantina natural, actualmente se emplea en la medicina humana por su alto poder antioxidante

lo que ha fomentado el surgimiento de grandes empresas cuya principal manera para producirlo, es con base a las microalgas llamadas *Haematococcus pluvialis*. Estas empresas distribuidas a lo largo del mundo y debido a su gran talla han estandarizado la producción de este pigmento.

Entre las empresas más sobresaliente se encuentran: Cyanotech Corporation en Hawai su línea destinada a consumo animal se llama Nature Rose®, otra empresa es US Nutra la cual comercializa Zanthin® su astaxantina es producida en Israel. Otro producto comercial es Deltaxantina® contiene astaxantina natural proveniente de *Haematococcus pluvialis* al 5% que encapsulan en una matriz de gelatina y carbohidratos y le añaden otros antioxidantes para que de esa forma se

proteja la astaxantina en los procesos de elaboración del alimento y esté más disponible para el pez.

Otras empresas producen astaxantina a partir de la fermentación de carbohidratos y son: Archer Daniels Midland Company (ADM) comercializa el producto ADM Ecotone® Phaffia Astaxanthin, Igene Biotechnology Inc. produce con el nombre Aquasta® (Figura 2).

La pigmentación de salmónidos en las granjas no puede depender únicamente de la astaxantina natural, debido a la demanda y precio de las mismas, por lo tanto, son utilizados productos sintéticos como la astaxantina y la cantaxantina sintética para alcanzar el grado de coloración deseado en el animal, estos productos

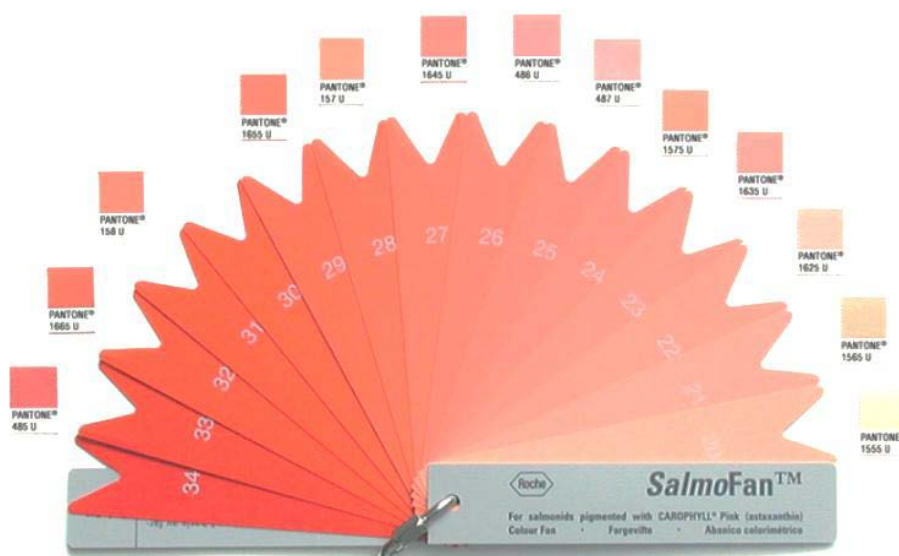


Figura 2. Abanico colorimétrico SalmoFan™ para clasificar el color del músculo del salmón. Fuente: dsm-firmenich, 2026.

cuentan con una alta concentración de carotenoides, son la principal fuente de pigmento para más del 90% de los salmónidos cultivados en el mundo.

Algunas de las astaxantina sintéticas más empleadas en la acuicultura son: Carophyll® Pink CWD (al 5%, 8% y 10%) de la empresa holandesa DSM Nutritional Products. La trucha arcoíris utiliza los carotenoides añadidos de mejor forma que el salmón del Atlántico y la trucha de mar, lo que significa que se puede producir una trucha con color vibrante para el mercado en menor tiempo. Una trucha adulta de más de 1.5 kilogramos pueden tener entre 20-25 mg/kg. de astaxantina en la carne, niveles similares a los encontrados en salmones silvestres.

¿Cómo puedo saber si el tono del pez es el adecuado o está muy pálido?

Existen patrones o modelos para medición visual del color en los salmónidos. Una de las empleadas es la cartilla Roche™ la cual tiene valores de entre 11 a 18, fue creada basada en el salmón del Atlántico; y la otra es el abanico SalmoFan™, que es un abanico o regla colorimétrica en donde hay una gama amplia de colores que va desde el 20 al 34, donde 20 es igual a un color rosa muy pálido y el 34 llega a

un color rojo-anaranjado. El uso de estas herramientas permite una mejor estimación de la coloración del músculo en campo. Sin embargo, la evaluación visual tiene limitaciones que están en función de las características ambientales como calidad y tipo de luz, color de fondo y están en función de las capacidades ópticas del analizador, es un método subjetivo. El más preciso es el fotocolorímetro triestímulo Minolta Chroma Meter que es un dispositivo calibrado y sensible.

Conclusión

Para finalizar, podemos decir que los salmónidos tienen la capacidad de pigmentar sus músculos al alimentarse con productos ricos o suplementados con carotenoides. Si bien estos pigmentos elevan el costo de la producción del pez, aportan grandes ventajas ya que por una parte aportan antioxidantes “extras” al consumidor, mejoran la viabilidad y desarrollo de los pequeños alevines disminuyendo su mortandad, son más llamativos y aceptados en el mercado en función de la intensidad de su color lo que deriva en beneficios económicos para el productor. Así mismo, los carotenoides permiten tener un distintivo selecto al productor en el mercado regional y visualmente estimulan al consumidor y profesional de la cocina a incrementar su uso y fomenta nuevas formas de preparación.

Lecturas recomendadas

- CONAPESCA (2015) Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2014. CONAPESCA. México. 303 p.
[https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2015/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2015_\(PDF\).pdf](https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2015/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2015_(PDF).pdf)
- DOF (2016) Acuerdo por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México. Disponible en:
<https://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/Fichas%20tecnicas/PlagasExoticas/Lista%20de%20las%20Especies%20Ex%C3%B3ticas%20Invasoras%20para%20M%C3%A9xico.pdf>
- Dsm-firmenich (2026) Herramientas de medición del color SalmoFan. Disponible en:
<https://www.dsm-firmenich.com/anh/es/products-and-services/tools/salmofan.html>
- Fiedor, J. y Burda, K. (2014) "Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease", *Nutrients*, 6:466-488.
- García-Mondragón David; Gallego-Alarcón Iván, Espinoza-Ortega Angélica, García-Martínez Anastacio y Arriaga-Jordán Carlos M. (2013) Desarrollo de la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Centro de México. *Revista AquaTIC*, n° 38, págs. 46-56. Año 2013. ISSN 1578-4541. <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/arte.asp?t=p&c=264>
- Hardy, R. Castro, E. Capdeville, A. (1994) Pigmentations of salmonids: sources, retention, programs and regulations. Documento técnico Fundación Chile. Santiago, Chile. 19 pp.
- Fiedor, J., Burda, K. (2014) Potential Role of Carotenoids as Antioxidants in Human Health and Disease. *Nutrients* 6(2):466-488. <https://doi.org/10.3390/nu6020466>
- Pokniak, J., Cornejo, S., Bravo, I. y Battaglia, J. (2001). Pigmentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) tipo mar alimentadas con dos niveles de astaxantina en dietas. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 22 (3).

CAPÍTULO 2.

CUANDO EL DOLOR TIENE CUATRO PATAS

Aguilar, Vianey¹; Cosco, Venancio¹; Cuevas, Jovita¹; Morales, Othón¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

Aunque el maltrato animal en la ciudad de México cuenta con un marco legal, una gran cantidad de los perros y gatos son violentados. Aunque hay leyes en casi todo el país, la falta de justicia sigue dominando. La cifra oficial no representa la realidad de los casos ocurridos, la falta de denuncias, la fobia y el poco profesionalismo de las partes correspondientes hace que los casos queden impunes. A pesar de que en algunos lugares se conocen a los animales como seres sintientes, aún no se les establecen derechos como tal. En este trabajo, se presentan casos que muestran la brutalidad de la sociedad sobre estos animales. Se exhorta a la población a transicionar a una fase reconocida por el respeto de hecho de los derechos de estas especies con las que convivimos diariamente.

Palabras clave. Derecho animal, bienestar animal, violencia animal.

Introducción

En nuestro país, la falta de respeto con los animales es algo que siempre pasa desapercibido, aunque siempre nos percatemos de ello. Como por ejemplo los animales en situación de calle: perros y gatos tratando de sobrevivir expuestos ante muchos factores (hambre, enfermedades y violencia).

Existen leyes en casi todos los estados, pero lo más absurdo es que aun habiendo, casi nunca se sancionan a los responsables de maltrato animal. La falta de justicia es tan grande que apenas y los casos llegan a una sanción. Este tema no se debe sólo al respeto de los animales si no que va más allá, retrata cómo tratamos a estos seres indefensos, así como de nuestros valores cómo sociedad. La ciencia los reconoce como seres sintientes: es decir, que son capaces de sentir dolor y placer como de ser conscientes de su entorno, protegen a sus crías y buscan la manera de sobrevivir, igual que nosotros, por eso hablar del tema es abordar la ética, cultura, respeto y autoridades competentes. Es ver que todos somos dignos de vivir con dignidad, amor y respeto.

Maltrato animal: reflejo de nuestra sociedad

Muchos animales todos los días sufren violencia, pasan por miedo, abandono y

enfermedades, mientras que tú y yo no lo notamos, no hay normas ni medios que garanticen efectivamente su bienestar, está situación crece cada vez más y se vuelve cada vez más frecuente en todo el mundo. En este problema también entran los animales salvajes, aves, y animales de granja, pero en especial los perros y gatos son los más afectados. Vagando entre callejones, y los basureros de las calles habitan muchos perros y gatos en busca de alimentación, refugio y contrayendo diversas enfermedades.

Aunque gozamos de un amplio marco legal, este no se aplica. Por estas razones, el desamparo de los perros y gatos a su suerte cada vez crece más. Muy pocas personas se atreven a denunciar los casos de maltrato, los cargos tardan en aplicarse y el presupuesto para atender a los animales no alcanza. La sobrepoblación de animales en estado de calle trae consigo diversos problemas de salud animal y medio ambiente. Si se sigue evadiendo este problema y no se fomentan un control para evitar la reproducción, sancionar el abandono y promueve la tenencia responsable, esté problema seguirá en aumento.

Según el conteo INEGI, al año mueren cerca de 60,000 especímenes por maltrato. Esta estadística muestra el

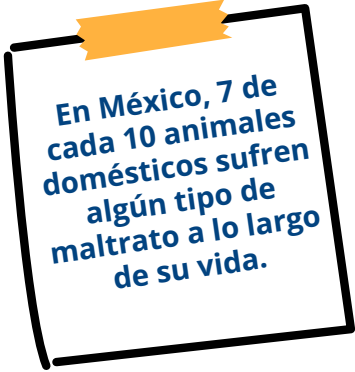
enorme problema y la urgencia de acción y responsabilidad.

El país con más perros sin hogar... y menos denuncias

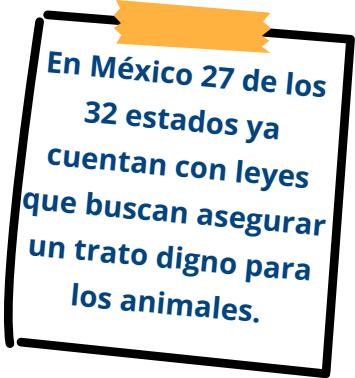
Nuestro país es el primero en Latinoamérica y el tercero a nivel mundial con más casos. No es únicamente violencia extrema, sino que también la irresponsabilidad (descuido, crueldad cotidiana y falta de humanidad en muchas familias.

Hay un porcentaje aproximado que dice que cada siete de diez animales domésticos sufren algún tipo de falta durante su vida, aun habiendo leyes las cuales casi nunca se aplican y sancionan. En el hecho, la impunidad es la regla. Cuando hablamos de maltrato no sólo nos referimos a lo físico, la Sociedad Americana de Prevención y Crueldad hacia los Animales lo establece cómo cualquier acto causante de dolor, estrés o sufrimiento indebido. La Ley General de Vida Silvestre en México también toma en cuenta la falta de atención (descuidos u omisiones), que pongan en peligro a estos seres. Si bien existen leyes, pero estas no establecen a los animales como poseedores de derechos, más bien los protege indirectamente, bajo el derecho a un medio ambiente sano. Estados, como Oaxaca, Estado de

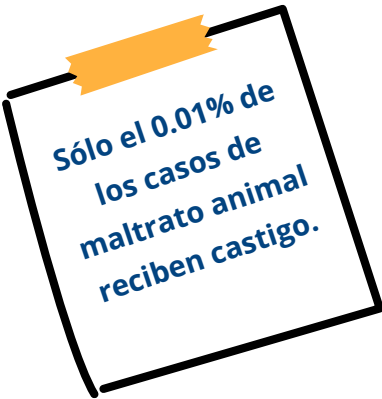
México y Ciudad de México, ya los reconocen como seres que sienten dolor y emociones, lo cual es un paso importante para fortalecer su protección. Aunque en la Ciudad de México la ley prevé cárcel de seis meses a cuatro años por maltrato grave, en la realidad casi nadie enfrenta consecuencias. En todo el país, los agresores suelen quedar impunes porque las leyes no se aplican con eficiencia o porque no hay pruebas suficientes.



En México, 7 de cada 10 animales domésticos sufren algún tipo de maltrato a lo largo de su vida.



En México 27 de los 32 estados ya cuentan con leyes que buscan asegurar un trato digno para los animales.



Sólo el 0.01% de los casos de maltrato animal reciben castigo.

En casi todo México, el maltrato animal ya se considera un delito. Las penas van de un mes hasta seis años de cárcel según la gravedad del caso. Chiapas es el único estado donde todavía no se castiga como delito, aunque el Congreso local ya analiza una reforma para incluirlo en su Código Penal.

A nivel federal, la ley habla de "bienestar animal" y de darles un "trato digno y respetuoso". En algunos estados, como Oaxaca, Estado de México y Ciudad de México, ya se reconoce a los animales como "seres que sienten", lo que ayuda a promover un trato más humano hacia ellos.

En México, las leyes no reconocen a los animales como sujetos de derechos, pero sí existen normas que buscan protegerlos. Además, quienes los maltratan pueden enfrentar sanciones penales, lo que significa que el maltrato animal ya tiene consecuencias legales.

Casos que duelen y no deberían repetirse

El caso de "Coqueto", ocurrido en San Pedro Tlaquepaque, Jalisco, se convirtió en un símbolo de la urgencia de aplicar con firmeza las leyes de protección animal. El 8 de abril, este perro inofensivo fue atacado brutalmente con una tabla, lo que le provocó lesiones fatales. El agresor, un hombre de 28 años identificado como José Antonio "N", huyó del lugar en una motocicleta después del ataque. Gracias a los testimonios de vecinos y a las imágenes que circularon en redes sociales, las autoridades lograron identificarlo y detenerlo el 6 de junio, posteriormente se le abrieron cargos por crueldad animal, delito que está contemplado en la legislación jalisciense.

Este caso muestra dos cosas importantes, la violencia diaria que los animales viven en la calle, cómo también lo importante que es tener leyes que penalicen el maltrato como delito. El arresto del implicado pone en claro que la denuncia ciudadana y las pruebas son de gran ayuda para que la justicia gane. Inclusive también muestra lo justo y necesario que es hacer conciencia y promover el respeto hacia los animales y hacer que las sanciones se apliquen sin deficiencia alguna en todo México.

El caso suscitado el 17 de marzo, en la colonia Gaviotas de Coatzacoalcos, conmovió a la gente, donde tres personas con palas y machetes agredieron a tres perros, hecho que fue evidenciado y denunciado por vecinos. La divulgación de la evidencia en redes, generó indignación y resultó en una protesta pública con intención de justicia. Diversas organizaciones animales y voluntarios se unieron a la protesta, señalando la falta de justicia a pesar de que existen pruebas y denuncias contra los implicados. Una participante en especial expresó que las autoridades no están haciendo su trabajo, ya que no se actúa aun habiendo pruebas.

No se puede seguir permitiendo el abuso hacia estos seres indefensos (Figura 1). Veracruz actúa bajo un marco legal, el cual abarca sanciones hasta de cinco años de prisión por maltrato animal, basándose en el artículo 264 del Código Penal. Pero la exigencia que se pide va más allá, ya que se busca que el maltrato animal sea calificado como delito grave, el cual impondría castigos más severos y estrictos en los casos. Existen muchos casos que reflejan la violencia en contra de los animales y también la urgencia de que la ley se aplique efectivamente y que la sociedad se mantenga en alerta para vigilar y exigir justicia.



Figura 1. Caso de Coatzacoalcos. Fuente: Estrada, 2025.

El silencio nos hace cómplices

En 2012, un grupo internacional de especialistas en neurociencias, entre ellos Jaak Panksepp, firmó en

Presencia de Stephen Hawking la Declaración de Cambridge sobre la consciencia de los animales.

En este documento se afirma que la ausencia de un neocórtex, el área del cerebro responsable del razonamiento lógico, no impide que un organismo pueda experimentar estados afectivos. La evidencia científica demuestra que los humanos no somos los únicos con la base neurológica que da lugar a la consciencia: esa "luz" en el cerebro que nos permite saber que estamos aquí, despiertos y conscientes de nuestro entorno y de nosotros mismos. Así, preguntas que antes parecían retóricas hoy tienen respuesta: los elefantes lloran la pérdida de sus seres queridos, los perros buscan consolar a los humanos y hasta las cucarachas muestran necesidad de compañía. El etólogo Carl Safina lo expresó con claridad: *"Tratamos de mantenernos con vida, conseguir comida y refugio y criar algunos jóvenes para la próxima generación. La presencia de los animales en la tierra es inmensamente enriquecedora y en ese aspecto no son tan diferentes a nosotros"* (Maldonado, 2023). Pero como lo aclara Cancino, uno de los grandes trabajos para formar nuestra interacción con animales es la educación. Las prácticas que establecen el maltrato resisten, por ejemplo, la compra de animales. Detrás de cada animalito que compras existe un progenitor (hembra) explotada, la cual es obligada a reproducirse contra su voluntad. Cancino lo nombra una forma de violación, de aquí es que

parte un lema que dice así (ni oprimida, ni opresora). Lema que entrelaza la lucha feminista y antiespecista, dejando en claro qué también oprimimos a hembras animales. En nuestro país la violencia hacia estos seres sigue invisible. Por eso es importante y esencial promover el respeto desde la educación y la discusión pública. Cada información de divulgación o artículo pues nos obliga a adquirir una posición, la toma será personal e independiente, y ya no será irrelevante. En fines honestos y ética aplicada, la cuestión clave frente a este problema es simple y concluyente. ¿Son capaces de sentir, al igual que nosotros? La contestación, avalada por el conocimiento de la ciencia es que sí. Es por ello que, su valor no se basa en si pueden o no realizar o tener el mismo coeficiente intelectual que nosotros o que puedan realizar las mismas labores para entretenimiento del público, ya que de ser así hay maltrato, (castigo y violencia). Lo que de verdad importa es aceptar su disposición de sentir, sufrir y vivir con respeto y dignidad (Figura 2).

La letra protege, la práctica abandona

Según la Cámara de senadores, 27 de los 32 estados disponen de leyes definidas de protección animal. Pero estados como Chiapas, Morelos y Yucatán aún no desarrollan una



Figura 2. Marcha ciudadana contra la violencia hacia los animales, Ciudad de México. Fuente: López, 2023.

regularización llena en el asunto. En sí, nuestro país ha progresado en la inspección del maltrato animal que específica que comportamiento es merecedor de una sanción legal. Pero ese progreso no se aprecia siempre en la vida diaria. Aunque existen diversas leyes éstas no avalan que los acontecimientos lleguen hasta manos de un juez, ni que las sanciones se apliquen de manera efectiva. Inclusive, aunque casi todos los estados ya califiquen el maltrato animal como delito, la realidad es que son pocos los casos que se investigan correctamente. Las denuncias llegan hasta cierto límite debido a que no saben a dónde acudir en estos casos, o temen represalias de los atacantes (Figura 3).

A todo esto, se le suma la falta de

profesión de los funcionarios a los cuales les competen estos casos. Esto conlleva a que en su mayoría los informes no mejoren, más que un registro, sin llegar a procesos judiciales.

Las sanciones por maltrato actualmente van desde un mes hasta seis años de prisión, esto va a depender de la acción en contra de los agresores. Debido a la omisión de la responsabilidad de denuncia, son muy pocos los casos que realmente llegan a una pena específica. Esto representa un problema (la falta de justicia y la falta de leyes aplicadas de forma real y efectiva). Nuestro país ha progresado significativamente en papel, al crear leyes de protección hacia los afectados (animales). Esto refleja el gran



Figura 3. Las leyes que existen sobre el maltrato vs la realidad que existe en México.

trabajo que aún está pendiente para que estas leyes de protección hacia los animales se pongan en práctica. Así, es importante impulsar a la ciudadanía a que denuncien este tipo de casos, que se capaciten más a las partes correspondientes y asegurarse de que realmente se apliquen las sanciones (Figura 3).

Conclusión

El maltrato animal en nuestro país es un tema que se ejerce a diario, día a día y en muchas casas habitaciones, aun habiendo leyes, es raramente la vez que realmente se castigue a quien dale a un animal, lo que lleva a la falta de justicia.

El hecho de que la ciencia reconozca a estos seres como “seres sintientes” es decir, que son capaces de ser sensibles igual que los humanos, lo cual es más que suficiente para tener empatía y ser

consientes respecto a ellos. El resolver no sólo estás en qué se aplique la ley, si no en qué se fomente la concientización de que no por ser animales se les debe de atentar en contra de su seguridad, sino que son seres inconsciente y con falta de voluntad, lo que nos debe hacer entender que son inocentes e inofensivos y que debemos respetarlos y cuidar de ellos, empezando desde la educación de casa y promover a la gente que denuncie ante estos casos, si cómo humanidad todos nos sumamos a esta labor social para apoyo de ellos, extirparemos la indiferencia y se construirá un mejor país digno, justo y más humano para todos los seres.

Lecturas recomendadas

- Estrada, A. (2025). México en alerta por aumento de maltrato animal; casos indignantes prenden los focos rojos. infobae. <https://www.infobae.com/mexico/2025/06/12/mexico-en-alerta-por-aumento-de-maltrato-animal-casos-indignantes-prenden-los-focos-rojos/>
- Maldonado, M. M. (2023) Maltrato animal: Todos somos animales. Corriente Alterna. <https://corrientealterna.unam.mx/reportaje/maltrato-animal-todos-somos-animales/>
- Navarro, C. A. G. (2023) El maltrato animal y sus sanciones en México. Gob.mx. http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/5991/NE_189_MaltratoAnimal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivera, F. (2025) El maltrato animal en México: la crisis que nadie está resolviendo. Meganoticias.mx. <https://www.meganoticias.mx/cdmx/noticia/el-maltrato-animal-en-mexico-la-crisis-que-nadie-esta-resolviendo/683463>
- Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021) Día Mundial de los Animales. gob.mx. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-mundial-de-los-animales-284364?idiom=es>

CAPÍTULO 3.

FAGOTERAPIA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL: SALUD SIN SACRIFICIO

Aguilar, Vianey¹; Cosco, Venancio¹; Cuevas, Jovita¹; Morales, Othón¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

Los antibióticos son ampliamente utilizados para el tratamiento de enfermedades en el ganado. Sin embargo, su efectividad está disminuyendo, pues las bacterias se están volviendo resistentes. Este problema está adquiriendo un nivel mundial, por ello, se debe de poner en marcha una nueva estrategia, la fagoterapia. El uso de virus es una solución natural de la tecnología actual destinada a proteger la salud de los animales y también de los consumidores. Los virus solo atacan a la bacteria patógena y evitan el daño a otras células. Esto puede ser una solución nueva con menor impacto en el medio ambiente. El objetivo de la fagoterapia es atacar y deteriorar a las bacterias patógenas desde su interior. Se explica el proceso a través del cual se da la infección, replicación y dispersión de virus fagos. Así, este tratamiento puede ser una solución en la veterinaria para evitar que los animales sufran y, en casos graves, sean sacrificados. También podría servir para un consumo humano de carne y salvar la vida de otros animales domésticos.

Palabras clave. Resistencia microbiana, terapia alternativa, producción agropecuaria.

Introducción

La Fagoterapia es un tratamiento en el cual un virus (bacteriófago) infecta a las bacterias, organismos pequeñísimos, responsables de algunas enfermedades y permite recuperar la salud de un animal sin el uso de antibióticos. Esto resulta esencial, pues los antibióticos son cada vez menos efectivos. ¿Te acuerdas de la última vez que tuviste una infección? ¿Te imaginas que hubiera pasado si no hubiera funcionado el antibiótico? Resulta que es un hecho, los antibióticos ya no están teniendo la misma capacidad de tratar enfermedades. Implementar la producción efectiva de virus bacteriófagos en la medicina veterinaria ofrecería ventajas para su uso. Por ejemplo, podría evitar la resistencia a los antibióticos y se evitaría el riesgo de que nuestros animales enfermen sin antibiótico que pueda salvarles. Atención, si seguimos por el mismo camino con el abuso de antibióticos, las bacterias patógenas o infecciosas adquirirán resistencia y ya no podrán combatirse con antibióticos.

¿Qué es la Fagoterapia y cómo actúa?

Los bacteriófagos o fagos son pequeñas estructuras, visualícense como robots miniatura hechos de compuestos orgánicos capaces de infectar a ciertos seres vivos. Para lograrlo, estos “robots”, llamados fagos

contienen su propio ácido nucleico (los planos de construcción de sí mismos) y proteínas (maquinaria de construcción de los planos). Estos mini espías asaltan y se multiplican dentro de las bacterias sin dañar otras células. De hecho, son muy comunes, son consideradas las criaturas vivas más abundantes de la tierra y están presente en casi todo el medio ambiente (Barriosnuevo, 2020).

Estos bichos han sido considerados como una opción de “anti-bichos malos”, es decir, que tienen la capacidad de tratar enfermedades como infecciones del estómago e infecciones bacterianas de tipo lesión producidas por *Staphylococcus* spp. (estafilococo). El ciclo de generación de estos virus comienza cuando un fago entra en una célula bacteriana susceptible. Las células se reorganizan para convertirse en fábricas de virus, y los componentes de los mecanismos biosintéticos se desconectan de sus funciones normales en el crecimiento de los microorganismos patógenos.

Crisis de los antibióticos en producción animal

La defensa anti-patógenos aborda un problema higiénico mundial. Sin nuevos antibióticos a la vista, la fagoterapia ofrece una nueva vía con menor golpe al medio ambiente y mayor fuerza para atacar contagios únicos en las granjas

de producción cárnica actuales. Aunque la eficacia de esta bioterapia ha sido considerada aceptable, su uso quedó relegado en Europa occidental y América tras la aparición de antibióticos como la penicilina y, posteriormente, las sulfamidas, moléculas de amplio espectro. Sin embargo, en países como Polonia, Georgia y la antigua Unión Soviética se continuó trabajando con estos microorganismos, manteniendo la bioterapia como una opción terapéutica en los servicios de salud (Figura 1).

Los bacteriófagos pueden ayudar en granjas de cochinos contra la enterobacteria del género *Escherichia coli* resistentes a los antibióticos de espectro extendido BLEE (beta-lactámico de espectro extendido), en esta búsqueda encontraron que los virus en la granja alemana mantenían una alta posibilidad de eliminar estas bacterias. Algunos investigadores buscaron cómo se comportan las “come bacterias” contra *Salmonella* spp. y *Salmonella typhimurium*, descubrieron que estos virus pueden frenar el crecimiento de las bacterias y además mejorar el ambiente intestinal de los animales.

Aplicaciones actuales en producción animal

La *Salmonella enterica* es una de las

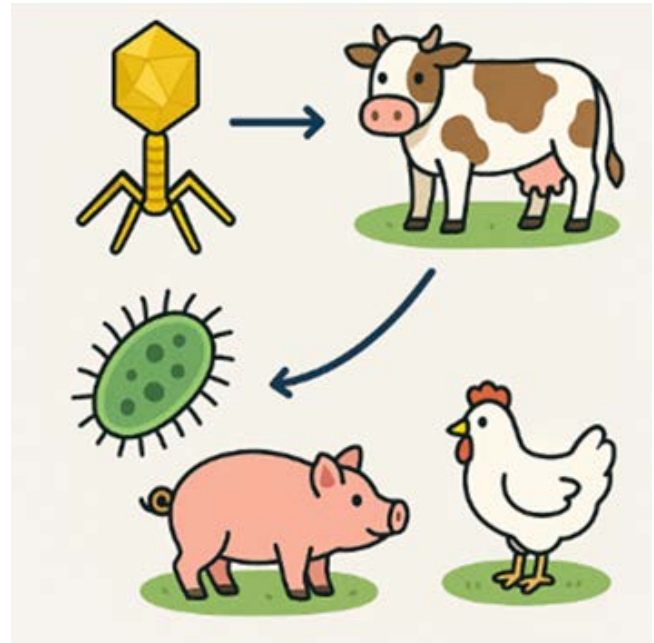


Figura 1. Integración de la Fagoterapia en animales de granja para la eliminación de bacterias.

principales causas de enfermedades que se contagian por alimentos a nivel mundial, con un impacto importante en la salud pública, ocasionando al año 93.8 millones de casos de salmonelosis y 155 mil muertes. La industria de producción de pollos es una de las que más que presentan contagios, ya que esta bacteria se introduce fácilmente el sistema digestivo de pollos y pavos.

El investigador Furusawa y sus compañeros, probaron si los virus “asesinos de bacterias” servían para tratar infecciones en los ojos de los caballos. Al utilizar ratones como prueba, esta investigación confirmó que la fagoterapia fue un tratamiento confiable contra la queratitis provocada por *Pasteurella aeruginosa*. Se demostró que, al encapsular los virus,

éstos actúan como moléculas capaces de perforar la pared bacteriana, provocando su colapso y muerte. Se trata de partículas con una intensa actividad lítica, comparables a proyectiles de alta precisión, que atraviesan las defensas de la bacteria sin importar su resistencia y la dejan inactiva.

Ventajas frente a antibióticos

Los virus son altamente específicos de sus huéspedes bacterianos, de las bacterias a las que se dirigen. En otras palabras, no infectan células humanas, pero pueden atacar y eliminar bacterias que podrían causar enfermedades sin alterar las poblaciones de bacterias comensales del organismo ni causar efectos secundarios negativos. La terapia con virus puede adaptarse a infecciones bacterianas individuales, en particular a aquellas que toleran antibióticos.

La resistencia a virus es menos problemática, aunque las bacterias pueden desarrollar resistencia a virus, usar tratamientos de varios tipos reduce mucho esta posibilidad, ya que van cambiando los procesos, a la vez es costoso para ellas. Además, el uso de bacteriófagos no deja residuos tóxicos, al ser naturalmente degradables y dirigirse directamente a la bacteria infecciosa, no contaminan la carne ni

alteran el entorno. Son compatibles con probióticos, al mantener las bacterias simbiotes, favorecen una mejor salud intestinal y metabólica.

Taxonomía de los bacteriófagos

Desde su aparición a principios del siglo XX, el orden de los llamados “cazadores de bacterias” ha experimentado una serie de transformaciones. Con el paso de los años, los avances científicos han permitido obtener con mayor facilidad información detallada sobre los genes y proteínas de los virus. Gracias al trabajo de expertos y al desarrollo de herramientas de vanguardia —como la secuenciación de nueva generación, la metagenómica, la espectrometría de masas, la resonancia magnética nuclear y la microscopía electrónica— hoy es posible observar con gran precisión la estructura de los virus que han logrado ser encapsulados. Todas estas técnicas han llevado al reconocimiento de diversas formas de los cazadores de virus, teniendo como criterio la composición los genes y forma de los virus para ordenarlos en rangos, subórdenes, familias, sub-familias, géneros y especies. En la clasificación actual, el orden de virus con cola que es uno de los más importantes, lo conforman 9 familias, 44 subfamilias, 671 géneros y 1,967 especies. La mayoría de los virus se encuentran ordenados como virus con cola (Tabla 1), ampliamente

repartidos en todos los ecosistemas de la tierra; este orden representa el 96% de todos los virus conocidos.

Los bacteriófagos de baja toxicidad

Los fagos son generalmente seguros para el uso humano y también para el uso veterinario. Estos virus naturales han evolucionado junto con las bacterias durante mucho tiempo, se realizaron estudios clínicos y su uso histórico han demostrado su baja toxicidad para los humanos. Estas características pueden hacer que el riesgo de efectos secundarios sea menor, contrario a ciertos antibióticos. Si bien existen algunas preocupaciones sobre posibles respuestas que ayudan al cuerpo a combatir infecciones a los fangos, estos síntomas suelen ser leves

y manejables, lo que refuerza el perfil de seguridad de la terapia con virus.

Conclusiones

La aplicación de la fagoterapia en los sistemas de producción animal representa un avance significativo hacia una medicina veterinaria preventiva y personalizada. Esta estrategia ofrece una alternativa eficaz para combatir infecciones bacterianas, evitando los problemas asociados con la resistencia antimicrobiana y la presencia de residuos. En países donde la industria ganadera busca garantizar la salud de los animales sin recurrir al sacrificio, la fagoterapia se perfila como una herramienta de gran valor para asegurar la inocuidad de los productos destinados al consumo humano.

Tabla 1. Clasificación del orden Caudavirales.

Orden	Familia	Composición Genómica	Subfamilia	Genero	Especies
Caudavirales	<i>Ackermannviridae</i>	dsDNA	44	71	1967
	<i>Autographiviridae</i>	dsDNA			
	<i>Chaseviridae</i>	dsDNA			
	<i>Demereciviridae</i>	dsDNA			
	<i>Drexleriviridae</i>	dsDNA			
	<i>Herelleviridae</i>	dsDNA			
	<i>Myoviridae</i>	dsDNA			
	<i>Podoviridae</i>	dsDNA			
	<i>Siphoviridae</i>	dsDNA			

Lecturas recomendadas

- MASLINA (2025) Fagoterapia avícola: los fagos podrían sustituir antibióticos en el ganado de 2025. MASLINA | Extractos naturales bioactivos de la Oliva | Cantabria.
<https://maslina.es/fagoterapia-avicola-los-fagos-podrian-sustituir-antibioticos-en-el-ganado-de-2025/>
- OMS (2025) Bacteriophages and their use in combating antimicrobial resistance. Translate.Goog. https://www-who-int.translate.goog/europe/news-room/fact-sheets/item/bacteriophages-and-their-use-in-combating-antimicrobial-resistance?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Pérez, K. A. B. (2020) Bacteriofagos como alternativa antimicrobiana y su aplicación en la medicina veterinaria y zootecnia. Edu.Co.
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/f968a161-49c9-416a-9c04-f274ed88318c/content>
- Tiwade y Sarita Ugemuge, V. M. N. B. Y. (2024) How phage therapy works, its advantages and disadvantages: Mini review. Journal of Pure and Applied Microbiology.
<https://microbiologyjournal.org/how-phage-therapy-works-its-advantages-and-disadvantages-mini-review/>

CAPÍTULO 4.

ENTRE BACTERIAS Y LEYES: EL PAPEL DE LA LEPTOSPIRA EN LA SALUD ANIMAL Y HUMANA

Andrade, Griselda¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

El presente capítulo documenta la Leptospirosis en animales de compañía y cómo evitar la posibilidad de una nueva pandemia. Se incluye la descripción de la enfermedad, morfología del microorganismo, diagnóstico y tratamiento. Dado que es una bacteria que se transmite de animales a humanos y viceversa, se discute un proceso legal propio de enfermedades de reporte obligatorio. Al ser una enfermedad zoonótica, se quiere que se impulsen leyes que promuevan el control de la bacteria *Lepstospira* con métodos preventivos de observancia obligatoria por parte de los tutores de algunas mascotas. Esto permitiría salvaguardar la salud pública y prever una potencial pandemia por un problema zoonosanitario.

Palabras clave. Epidemiología, bioseguridad, control sanitario.

Introducción

La leptospirosis es una enfermedad zoonótica, es decir, una infección que puede transmitirse de los animales a los seres humanos. Algunos investigadores utilizan el término zooantroponosis para referirse a aquellas enfermedades que, en sentido inverso, los humanos pueden transmitir a los animales. La leptospirosis representa un riesgo epidémico relevante, ya que es causada por la bacteria *Leptospira*, la cual cuenta con más de 200 serovares, es decir, más de 200 variantes capaces de afectar a diversas especies animales. Debido a su impacto en la salud pública y veterinaria, esta enfermedad está sujeta a un régimen legal de manejo como padecimiento de reporte obligatorio, lo que subraya la importancia de su vigilancia y control.

Generalidades

La leptospirosis constituye la enfermedad zoonótica de mayor impacto en salud pública, debido a los daños que ocasiona desde el punto de vista económico y social. Los casos de leptospirosis en México se presentan durante todo el año; sin embargo, los picos endémicos se observan en los meses donde se presentan lluvias, agosto, septiembre y octubre.

Hoy en día, la leptospirosis sigue siendo un problema de salud para nuestro

país, ya que los animales constituyen la principal fuente de transmisión de la enfermedad al hombre. De ahí la importancia de contar con vacunas y herramientas veterinarias capaces de abarcar los distintos serovares de *Leptospira* que circulan en las especies animales.

La leptospirosis es una enfermedad bacteriana común que se transmite entre humanos y entre animales y no solo afecta a mamíferos, sino que también afecta a otros animales como a los anfibios, reptiles, aves e incluso peces. Esto significa que puede tener múltiples hospederos intermediarios, haciéndola más peligrosa. Estas bacterias requieren de oxígeno para poder obtener su energía y tienen una temperatura óptima de crecimiento de 28 a 30 grados.

Reservorios

Para Céspedes (2005), los reservorios de las bacterias del género *Leptospira* son animales que mantienen una relación de comensales con las bacterias y no sufren o sufren muy levemente la enfermedad. Así, transfieren la infección a sus crías en el útero o el periodo neonatal, favoreciendo la cadena de transmisión. Los portadores son aquellos animales que mantienen las bacterias viables y con capacidad de multiplicarse en sus

riñones, excretándolas por la orina; muchos de estos pueden tener serología negativa. Los reservorios más importantes son mamíferos pequeños que pueden transmitir la infección a los animales domésticos y a los humanos.

La transmisión depende de muchos factores como el clima, la densidad y el grado de contacto entre el reservorio y los hospederos accidentales. Los roedores pueden ser reservorios de diferentes serovares, pero las ratas generalmente son reservorios de serovares como *Icterohaemorrhagiae* y *Ballum*, y los ratones son reservorios para el serogrupo *Ballum*.

Los roedores son los principales hospedadores reservorios y a través de su orina la bacteria es depositada en agua y suelo donde se transmite a varias especies de fauna silvestre, animales de producción como cerdos, vacas, caballos, ovejas y conejos, así como animales de compañía (perros y gatos). De esta manera, la bacteria puede infectar a los humanos por la exposición directa o indirecta de estas especies de animales infectados que pueden entrar al cuerpo a través de cortaduras o abrasiones en la piel y por las membranas mucosas de la nariz, boca y ojos. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, cada año se diagnostican 1.3 millones de nuevos casos de leptospirosis humana



Figura 1. Ciclo de transmisión de la leptospirosis. Fuente: Ministerio de Salud de Brasil. Fuente: Getty BBC

en todo el mundo, donde pueden presentar una amplia gama de síntomas, con una tasa de mortalidad superior al 50%.

Taxonomía de la bacteria

Originalmente, las bacterias se agrupaban acorde a sus características morfológicas. Así nació la clasificación de bacterias espirogénicas patogénicas y no patogénicas. Posteriormente, con el uso de serotipos, definidos con base en la heterogeneidad estructural en la molécula de carbohidrato heteropolisacárido, la hibridación DNA-DNA y los análisis filogenéticos del 16S rRNA, se divide al género *Leptospira*.

Las principales serovariedades universales son *Icterohaemorrhagiae*, *Pomona*, *Ballum*, *Bataviae*, *Interrogans* y

Grippytyphosa. Con la posibilidad del secuenciamiento del genoma para todas las serovariedades posibles, se espera descifrar la diversidad del antígeno del lipolisacárido. La *Leptospira interrogans*, una especie de *Leptospira* que puede causar la leptospirosis, posee en uno o ambos extremos los endoflagelos con una forma típica de gancho. La transmisión es generalmente por contacto de orina animal en agua. El organismo penetra membranas mucosas o entra a través de fisuras en la epidermis.

El género *Leptospira* (Gr. Lepto = fino y espira = espiral) pertenece a la familia Leptospiraceae y al orden Spirochaetales, las cuales se diversificaron tempranamente en la evolución de las bacterias (Figura 2). Tradicionalmente han sido clasificadas tomando como base a sus determinantes antigénicos en dos especies, la mayoría de leptospirosis patógenas se agruparon dentro del “complejo interrogans” las otras se pusieron en el “complejo biflexa” que agrupa a las saprofitas principalmente. La unidad taxonómica en *Leptospira* es el serovar, ambos complejos (*L. interrogans* y *L. biflexa*) han sido dividido en numerosos serovares por la prueba de aglutinación cruzada (CAAT), muchos serovares dentro de un serogrupo son representados por una sola cepa de referencia 5,7. Los serovares

Actualmente, la clasificación del género *Leptospira* está basado en la homología del ADN y está dividido en 17 especies; definido en 70% de homología y 5% de divergencia en el ADN.

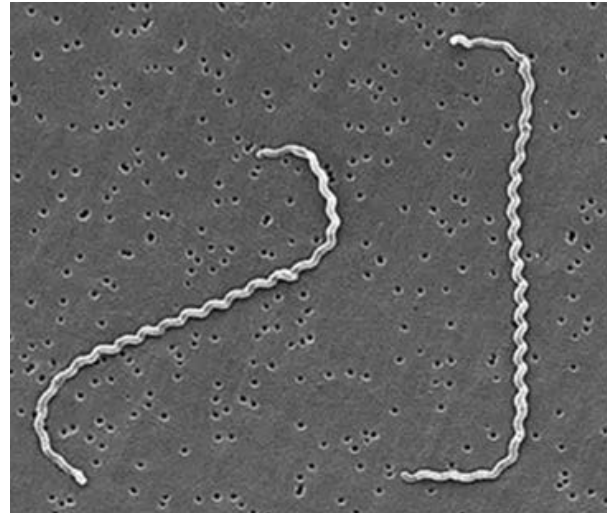


Figura 2. *Leptospira interrogans*. Fuente: INSST, 2021.

homólogos antigénicamente han sido agrupados en serogrupos. Existen más de 60 serovares de *L. biflexa* sensu lato y más de 240 serovares agrupados en 24 serogrupos dentro de *L. interrogans*. Actualmente, la clasificación del género *Leptospira* está basado en la homología del ADN y está dividido en 17 especies; definido en 70% de homología y 5% de divergencia en el ADN.

Epidemiología

La Leptospirosis es una enfermedad de distribución mundial, tanto en zonas urbanas y rurales, excepto en las regiones polares. Se presenta más en los países de clima subtropical o

tropical húmedo. Tiene una alta prevalencia en países donde existen grandes precipitaciones pluviales y el suelo es neutro o alcalino y donde existe alta población de roedores peridomiciliarios. En países de clima templado tiende a ser un problema más bien de tipo ocupacional para trabajadores de arrozales y campos de caña de azúcar, granjeros, mineros, trabajadores de alcantarillados, empleados de mataderos, criadores de animales y médicos veterinarios.

Este género representa también un peligro para bañistas, deportistas y personas que acampan en zonas infectadas. Es una enfermedad que ataca con mayor frecuencia a los hombres por razón de su oficio. Las edades de mayor incidencia están entre los 15 y los 40 años. En la transmisión tiene importancia las mascotas, especialmente los perros. En un estudio de revisión de seroprevalencia realizado entre el año 2000 y 2005 se identificaron 9,261 casos seropositivos de los cuales 293 se confirmaron por los criterios correspondientes, lo que evidencia el contacto con el *Leptospira* spp. Se encontró que la mayor incidencia y prevalencia se presentó en los estados del sur y centro del país y la mayoría de los casos se asoció en los meses que comprende la temporada de huracanes en el país.

La leptospirosis es una zoonosis que para prevenirse y controlarse requiere

acciones conjuntas de los sectores público, social y privado, a través de promoción de la salud, saneamiento básico, atención médica, capacitación del personal de salud y vigilancia epidemiológica.

Sintomatología y diagnóstico

La leptospirosis en perros puede manifestarse con signos de vasculitis, lesión renal aguda y/o lesión hepática de severidad variable, según la cepa infectante y la respuesta inmune del hospedador. Otras presentaciones clínicas pueden incluir fiebre, ictericia, hemorragia pulmonar, uveítis, miositis, insuficiencia reproductiva e incluso la muerte. A través de las Pruebas de Aglutinación Microscópica (MAT) y de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) se han detectado más de 30 serovares de leptospirosis que pueden afectar a los perros, siendo Canícola, Copenhageni, Icterohaemorrhagiae, Grippotyphosa y Pomona las más virulentas, por lo que es importante tener diagnósticos del estado de salud de las poblaciones caninas y así disminuir los riesgos de transmisión zoonóticas de esta espiroqueta. El tiempo entre la exposición a la fuente de contaminación y el comienzo de síntomas es de 2 días a 4 semanas.

La enfermedad se desarrolla en diferentes fases. En la primera fase, o

leptospirémica, la ruta de infección comúnmente es a través de la mucosa nasal, oral, conjuntiva y abrasiones de la piel. Tiene un comienzo brusco que dura de 4-9 días. En esta fase las leptospiras alcanzan el torrente circulatorio y son llevadas a los órganos internos: hígado, riñones, entre otros; donde ocasionan daño tisular más o menos severo de acuerdo con el serovar involucrado y la severidad de la infección, dolor abdominal e hipotensión. La infección de las membranas fetales y del feto puede ocasionar abortos y el paso de las leptospiras a través de la placenta facilita los cambios degenerativos en la última etapa de gestación. En la segunda fase o Inmune, es aquella en la que, tras un periodo asintomático de 1-3 días, se inicia un periodo de 1-4 semanas en donde aparecen los anticuerpos.

Tratamiento

El tratamiento se basa principalmente en la terapia de soporte, control del desequilibrio electrolítico y ácido base. La terapia con antibióticos debe iniciarse lo más temprano posible para evitar lesiones en los tejidos. El manejo de casos moderados a graves debe ser en forma hospitalaria.

Todo paciente con diagnóstico presuntivo de leptospirosis debe ser hospitalizado cuando presenta los siguientes síntomas de alarma: fiebre

elevada que no cede a antipiréticos, vómitos persistentes, dolor abdominal intenso que puede llegar al abdomen agudo, ictericia, manifestaciones hemorrágicas (gingivorragia, hemoptisis, melena, petequiasgeneralizadas), dificultad respiratoria, trastornos hemodinámicos (shock), oliguria y signos meníngeos. Existe controversia sobre la eficacia del tratamiento antimicrobiano en la leptospirosis leve y febril, por lo que los cuadros más leves de leptospirosis probablemente no requieren tratamiento alguno. En los casos más graves es fundamental administrar los antibióticos adecuados lo más pronto posible.

Marco legal aplicable

De acuerdo con la organización Mars Petcare, en México al menos 29.7 millones de perros y gatos viven en la calle y esa cifra puede incrementar, ya que el Congreso de la Ciudad de México estima que cada año se abandonan 500 mil. Abandonar a un animal en la calle tiene varias repercusiones negativas para ellos. Los animales en situación de calle sufren diversos riesgos como padecer hambre, sed o enfermedades, y están expuestos a accidentes, maltrato y abuso sexual. Entre las enfermedades en las que los perros situación calle transmiten, no se habla sobre la leptospirosis como amenaza. Se comenta que los animales abandonados pueden transmitir

enfermedades infecciosas y parasitarias a las personas, como larabia, la tiña, la sarna, las pulgas y las garrapatas; además generan problemas ambientales con la presencia de heces o cadáveres en los sitios de reunión de familias y perjudican la biodiversidad.

Actualmente, no existe un artículo o ley federal específica que obligue a los dueños a vacunar a sus mascotas contra la leptospirosis. Es una vacuna esencial altamente recomendada. La Ley Federal de Sanidad Animal en su norma NOM-046-ZOO-1995 demuestra los protocolos y deberes de los profesionales en la salud, por ejemplo, como médico veterinario en México, está obligado legalmente a notificar un brote de leptospirosis a las autoridades sanitarias, ya que es una enfermedad zoonótica y de declaración obligatoria. El incumplimiento de esta normativa puede traer sanciones legales, que incluyen multas y otras sanciones.

Conclusión

La prevención es un hábito fundamental, la información es de suma importancia. Con ella, podría evitarse una potencial pandemia de leptospirosis. En la actualidad, en México, solamente hay dos campañas anuales de vacunación antirrábica, pero ¿incluye prevención ante otra enfermedad? En el hipotético caso que el dueño responsable acuda con su mascota a la vacunación ¿Qué pasa

con los otros dos perros que no tienen dueño?. Se requiere más difusión para informar a la población en general sobre los protocolos, no solamente a la comunidad veterinaria, vivimos expuestos a bacterias y a pesar de la reciente pandemia, se ha bajado la guardia, no se ha hecho hincapié en continuar con los protocolos preventivos para evitar enfermedades.

Lecturas recomendadas

- Céspedes Z, Manuel (2005) Leptospirosis: Enfermedad Zoonótica Emergente. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 22(4), 290-307. Recuperado en 28 de noviembre de 2025, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342005000400008&lng=es&tlng=es.
- Giulia Granchi (2024) Leptospirosis: Mi diagnóstico hubiera sido más rápido si no existiera un estigma sobre la enfermedad. BBC New Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/articles/crg7zey5ld8o>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, INNST (2021) *Leptospira interrogans*, Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. <https://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/bacterias/leptospira-interrogans>
- Jasso-Obregón, J. O., Hernández-Contreras, S., Alva-Pérez, J., Benavides-González, F., Pérez-Tovar, F. E., Rosas-Mejía, M., & Reyes-Zepeda, F. (2024) Tendencias mundiales de la investigación de leptospirosis y serovares en perros presentes en México. Ciencias Veterinarias Y Producción Animal, 1(2), 48-59. <https://doi.org/10.29059/cvpa.v1i2.17>
- Santos, J. G. (2013) Manual de diagnóstico microbiológico de *Leptospira interrogans*. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez Olivera Y, Rodríguez González I, Zamora Martínez Y, Verdasquera Corcho D, Fernández Molina C. (2013) Detección de ADN de leptospirosis en tejidos frescos de fallecidos en Cuba, 2008-2011. Revista Cubana de Medicina Tropical. 65(2):16p

CAPÍTULO 5.

TÉ DE LOMBRICOMPOSTA

Flores Bandala, Alejandra Getsemaní¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

En este capítulo se presenta la integración de prácticas agroecológicas para optimizar el manejo de riego y nutrientes en cultivos. Veremos temas como la producción de humus de lombriz mediante el manejo y aprovechamiento de residuos o desechos orgánicos. Tiene como propósito dar a conocer al público buenas técnicas de manejo a través del reciclaje de residuos orgánicos, esto puede ayudar a la recuperación de zonas rurales, lo que ayudaría a resolver diferentes problemas que enfrentamos en la actualidad, también reduciría el uso de fertilizantes químicos nocivos. Hablaremos del té de lombricomposta como tema principal pues es algo un tanto novedoso ya que muchas personas aún desconocen su existencia y sus diferentes beneficios en la agricultura. Esta información podría ayudar a solucionar problemas poco a poco comenzando desde casa con algo tan sencillo como el té de humus de lombriz o el compost de lombriz. El propósito es este, el hecho de que para las personas les resulte sencillo y atractivo aportar un granito de arena. El alto costo en fertilizantes convencionales, la erosión y la contaminación que se genera por el uso excesivo ha llevado a los agricultores a buscar alternativas para la mejora del suelo, la inversión y la calidad de sus frutos.

Palabras clave. Humus, extracto acuoso de lombricomposta, reciclaje, residuos orgánicos, sencillo, optimizar y solucionar.

Introducción

Tener conocimiento sobre la variedad de desechos orgánicos que podrían existir en tu hogar podría rendirte frutos importantes después. La agricultura ha sido nuestra compañera desde tiempo atrás hace miles de años, siendo el pilar de producción de alimentos a partir de los recursos naturales a nuestro alcance. ¡Quién diría que hoy en día tiramos como desecho recursos que podrían darnos alimentos!

Los desechos orgánicos se conocen por ser numerosos, con nutrientes diferentes y especiales que podrían ayudar más de lo que podrías imaginar empezando por tu jardín. La riqueza de efectos y nutrientes que los residuos orgánicos ofrecen tras un apropiado proceso de descomposición mejoran la absorción y asimilación de estos en la tierra y, mejor aún, con ayuda de nuestras amigas las lombrices, esto podría mejorar aún más. Entonces, un buen manejo de residuos y lombrices podría ayudar al suelo a incorporar y retener más nutrientes. Un proceso acelerado de regeneración para que las plantas puedan tener un mejor crecimiento y obtener frutos de mejor calidad sin dañar a tierra.

Composición química y nutricional

El fertilizante líquido de lombricomposta

es alto en nitrógeno y rico en fósforo, potasio y magnesio, además de minerales y micronutrientes. Puede definirse como un líquido acuoso orgánico obtenido del compost donde no solo están diluidos los nutrientes antes mencionados, sino que también se encuentran microorganismos que tienen propiedades benéficas y/o protectoras para las plantas y además pueden ser fertilizantes. Este fertilizante líquido es muy completo al contener una variedad de concentrado de nutrientes, sustancias parecidas a las fitohormonas, ácidos húmicos y fúlvicos, metabolitos estimulantes para la germinación y el crecimiento vegetal.

Cuando se habla de microorganismos, nos referimos a bacterias, hongos, protozoarios, y demás seres vivos microscópicos. ¡Estos grupos son demasiado diversos! ¿Qué especies o grupos son los que encontramos en el extracto líquido de composta? La composición de las comunidades microbianas varían dependiendo del momento del ciclo de preparación del té, siendo más abundante en las primeras tres semanas por las bacterias del filo (spirochaetota) cuando el compost este maduro. Pasando los tres meses son más abundantes las bacterias filo (bacterioidetes proteobacterias y firmicutes). Algunas de estas bacterias



Figura 1. Té de lombricomposta. Fuente: Cosas del jardín, 2026.

están relacionadas directamente con la producción de hormonas promotoras al crecimiento vegetal, como el ácido indol-3-acético. En cuanto a los géneros reportados de hongos, los más comunes son *Penicillium*, *Aspergillus*, *Phoma* y *Piriformospora*. Además, contiene 5 veces el nitrógeno, 7 veces la potasa y 1,5 veces más calcio que una tierra para cultivar de buena calidad (Figura 1).

Mecanismos de acción

La aplicación del extracto acuoso es una de las alternativas preferidas para lograr la “educación” del suelo. Al añadir las comunidades microbianas, se reactivan ciclos biogeoquímicos, es decir, la maquinaria natural del suelo para regenerarse por sí mismo. Entonces, una de las características más importantes del té de lombricomposta son los microorganismos que posee, no tanto su

riqueza o concentración de nutrientes.

Hasta este momento, tenemos microorganismos, macronutrientes, micronutrientes, a ello se suman las enzimas. Considérese a estas como máquinas orgánicas automáticas con misiones específicas. Por ejemplo, transformar un azúcar complejo en uno más simple, o una forma tóxica de nitrógeno en otra útil para las plantas. El suelo le debe mucho a las enzimas y su dinámica. Esta actividad enzimática se produce a partir de la interacción de diferentes agentes, vivos y muertos como raíces, residuos orgánicos y minerales. Estos elementos se acumulan en el suelo, formando la “materia orgánica”, la parte oscura del suelo, viva y dinámica. La actividad enzimática puede venir de las bacterias, hongos, virus, insectos, lombrices, incluso las mismas raíces de las plantas.

Entonces, a través de un proceso en el que extraemos y reproducimos en medio acuoso todos los microorganismos presentes en el humus de lombriz, junto a nutrientes solubles, ácidos húmicos, fúlvicos y sustancias bioactivas se consigue una aplicación sencilla y efectos más inmediatos.

Equipamiento necesario ¿Qué necesito para producir mi té de lombricomposta?

En primer lugar, necesitas lombricomposta. El proceso de elaboración de lombricomposta permite aprovechar una amplia variedad de residuos orgánicos como el de las frutas y las verduras, incluso el de la misma preparación de los alimentos. Procura evitar residuos con alta cantidad de sodio o de origen animal. Estos son ingredientes que deben mezclarse y, tras un periodo aproximado de 30 días, te darán como resultado un material negro, fresco y de olor agradable. ¿Solamente los mezclamos y esperamos? Ojalá así fuera, pero el contenedor de la combinación necesita ciertas características.

La instalación de un compostero para interiores puede utilizar un contenedor de madera o de plásticos, es muy importante observar los principios de higiene y seguridad, es importante portar guantes al igual que un overol o mandil.

También se recomienda utilizar un cubrebocas especial durante las actividades que generan suspensión de polvo o si se es muy sensible o alérgico al moho. Cualquier herida sufrida al manejar los residuos, por orgánicos que sean, debe ser atendida. Al manipular los residuos y el té deben usarse lentes de seguridad. Después de cualquier contacto con material orgánico, debe lavarse la zona correctamente, al igual que al comer, tocarse los ojos, la nariz o los oídos.

Es indispensable mantener los residuos en descomposición correctamente oxigenados. Esto puede lograrse al revolver la materia cada 3-5 días. El compostero debe permitir la salida del lixiviado, el escurrimiento de líquidos que pudieran limitar el acceso del aire. Igualmente, mantenga húmedo el contenido del compostero, la descomposición depende de la acción de microorganismos y los microorganismos no sobreviven en condiciones de sequía.

Con esto, se logra obtener la materia prima esencial, procede a preparar el "té".

Preparación del té

El té de lombricomposta, el cual es un abono foliar, su aplicación se hace directamente en las hojas, tallos, y frutos de las plantas.

La forma de realizar un té de lombricomposta es muy sencilla, usa los siguientes materiales para elaborar 20 litros de té: 20 L de agua, 500 g de lombricomposta, 100% piloncillo, 1 bomba para pecera, un recipiente de 20 L o más, 1 pedazo de tela o media, 1 liga, atomizador o mochila aspersora. La composición de la lombricomposta está hecha comúnmente de estiércol de bobino, equino y caprino, también de desechos orgánicos específicamente vegetales como ya hemos mencionado anteriormente.

Envuelve el piloncillo y la lombricomposta con la tela y amarra con una liga, pon el agua en el recipiente, sumerge la bomba, coloca la lombricomposta envuelta, en la cubeta con agua, deja encendida la bomba durante 24 h. El piloncillo sirve como fuente de energía para los microorganismos que viven en la lombricomposta, al encender la bomba de agua está en un proceso de oxigenación y movimiento, esto permite que el piloncillo se deshaga y se mezcle con la lombricomposta y el agua. Antes de utilizarlo, es necesario colarlo para evitar que el atomizador o la mochila aspersora se tapen, puedes aplicarlo directamente sobre el follaje de tus plantas o diluirlo en agua en proporción 1L de concentrado de té de lombricomposta a 10 L de agua sin cloro. Te recomiendo aplicarlo por la

mañana o la tarde, evita las horas de sol intenso, así disminuyes pérdida de evaporación y que la planta realmente no lo aproveche, ya que en altas horas de sol las plantas cierran sus estomas.

Dosis y frecuencia

Dosis de dilución 250 ml para 20 litros de agua sin cloro, 1 litro para 200 litros de cloro. Dosis de aplicación agrícola, para aplicación foliar diluir un litro de té en 2 litros de agua sin cloro. Esparce en las hojas y tallos, es compatible con cualquier sistema de riego, compatible con fertilizantes orgánicos, no compatible con cloro. Importante asegúrate de revisar la calidad del agua antes de realizar el té. El agua del servicio público normalmente contiene cloro y más en tiempos de calor. Aplique en hortalizas 1 vez cada 5-10 días, en plantas maduras y perennes cada 10 días, en frutales 1 vez cada semana.

Crecimiento de mercado orgánico en México

La tendencia actual de los consumidores de hortalizas frescas en el mundo, especialmente en países desarrollados, es hacia un consumo de productos sanos, cultivados con técnicas no convencionales y sin la presencia de residuos de productos de conjuntos químicos que puedan dañar su salud. Por tanto, además de las ventajas económicas y ambientales, la



Figura 2. Sugerencias en la producción de té de lombricomposta.

producción de hortalizas orgánicas representa una oportunidad de desarrollo tecnológico y comercial.

A diferencia de los otros sectores agropecuarios del país, el sector orgánico ha crecido en medio de la crisis económica. La superficie orgánica presenta un crecimiento anual superior al 33% a partir de 1996. Con base en datos del Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM) de la Universidad Autónoma Chapingo, obtenidos en el proyecto "Sistema de Seguimiento e Información de la Agricultura Orgánica en México", para 2004/05, se estimó una superficie orgánica de 308,000 ha, en la que participaban más de 83,000 productores.

La práctica de la agricultura orgánica en México se remonta a los años ochenta. Aunque relegada a contadas comunidades marginadas en el sur del país, su presencia ha ido aumentando desde entonces. De acuerdo con las cifras reportadas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el mayor Incremento observado en el volumen de producción fue de 74.3% pasando de 41.2 mil ton en 2004 a 71.8 mil ton en 2009. Desde entonces a 2009 la tasa media anual de crecimiento (TMAC) ha sido de 9.7%. Respecto al valor de la producción, éste siguió la misma tendencia de crecimiento hasta 2006 cuando registró un máximo histórico de 834 millones de pesos.

Conclusión

El té de lombricomposta es un excelente fertilizante, una opción natural que brindará buenos resultados, proveniente de algo tan simple y desaprovechado como los residuos de materia orgánica, como el estiércol o los desechos vegetales. Para ti como agricultor, a ti como amante de las plantas, a ti que quieres aportar para mejorar el ecosistema de nuestro planeta, es buen momento para

comenzar, es una acción recíproca viable con muchos beneficios tanto individuales como numerosos para el medio ambiente y sus habitantes. Ahora es buen momento para comenzar aportando nuestro granito de arena y ser un poco agradecidos con lo que ya se nos ha brindado, comenzar a cuidar un poco lo que tenemos para futuras generaciones y ahora nos tocará enseñarles a ellos.

Lecturas recomendadas

- Arauz, L. F. (2011) Fitopatología un Enfoque Agroecológico. 2 ed. San José, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 519 p.
- Castro, L, Flores, L, Uribe, L. (2011) Efecto del vermicompost y quitina sobre el control de *Meloidogyne incognita* en tomate a nivel de invernadero. *Agronomía Costarricense* 35(2):21-32.
- Cosas del Jardín (2026) Cómo hacer te de compost en 5 pasos, beneficios y precauciones. Disponible en: https://www.cosasdeljardin.com/como-hacer-un-huerto-organico/preparados-y-fertilizantes-organicos/como-hacer-te-de-compost-en-5-pasos-beneficios-y-precauciones/#google_vignette
- Durán, L; Henríquez, C. (2007) Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- Ferrera, R., Alarcón, A. (2001) La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum* 8:2 UNAM.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2012) El cambio climático, la agricultura y la seguridad alimentaria.
- Parra Martínez, S. (2023). Microbiología del vermicompost. Universidad de los Andes.
- Mejía, Pedro A. (2017) TFM, Té de vermicompost y PGPMs en cultivo de melón.
- Villar, I. (2017) Estudio de la dinámica microbiana durante la fase de maduración del compostaje de residuos orgánicos. Vermicompostaje como alternativa de tratamiento. Universidad de Vigo, Tesis de doctorado.
- Zamora, K. (2017). Uso potencial de lixiviados y té de vermicompost en el control del ojo de gallo del café <i>Mycena citricolor</i>. *Agronomía Costarricense*, 41(1).

CAPÍTULO 6.

ACTINOBACTERIAS Y LOMBRICULTURA: LOS BIOINGENIEROS DE LA TIERRA

Guevara, Viviana¹, Blanco, Arlette¹, Hernández, Ángeles¹, Jácome, Evelyn¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

Hoy en día está popularizado el término compostaje o lombricompostaje, pero muy pocas personas saben los detalles de lo que ocurre dentro de este proceso y qué lo hace tan especial. La palabra humus es muy antigua, se origina desde 2,000 años A.C. y era usada por la civilización griega, su significado etimológico en griego antiguo es cimienta. Para ellos, el humus era ese material orgánico de color marrón oscuro de consistencia pastosa resultante de la descomposición de los restos vegetales y animales que se encontraban en el suelo, y cuya aplicación en el terreno producía mejores cosechas y por esto le atribuían gran importancia desde el punto de vista de la fertilidad (Theophrastus 372 - 287 a.C.). Gracias a los avances tecnológicos y científicos, al día de hoy sabemos que el éxito de las lombrices se debe, en gran parte, a los microorganismos asociados. Las actinobacterias son solo uno de los incontables grupos de bacterias que colaboran con las lombrices para transformar “basura” orgánica en un producto tanto útil como extraordinario, la lombricomposta.

Palabras clave. Lombricultura, vermicompostaje, actinobacterias, humus de lombriz, *Eisenia foetida*.

Introducción

Desde la perspectiva del observador externo, los residuos orgánicos en el lombricompostaje pasan de ser una problemática mezcla heterogénea de basura a una agradable “tierra negra” homogénea semejante al suelo de bosque con un atractivo olor. ¿Pero quién es el responsable de esta radical transformación? Aquí hablaremos de las curiosidades que puede compartirnos un grupo muy especial de seres microscópicos.

Las actinobacterias pertenecen a un grupo de bacterias muy diverso que se encuentra distribuido en distintos ambientes en los cuales desempeñan una función ecológica importante descomponiendo la materia orgánica del suelo. En el contexto de la lombricultura (Figura 1), estos microorganismos cobran un protagonismo aún mayor en la interacción de un micro ecosistema altamente eficiente donde la descomposición, transformación y estabilización de residuos orgánicos se llevan a cabo con rapidez y precisión natural. Entonces, aunque las lombrices facilitan el trabajo mecánico, son en realidad microorganismos miniatura quienes logran la transformación final de la materia hasta esa “tierra negra” que conocemos.

Esta relación simbiótica convierte a ambos, microorganismos y lombrices,

en auténticos “bioingenieros” del suelo, capaces de transformar residuos en compuestos altamente nutritivos para las plantas. El presente capítulo no solo nos ayuda a comprender la complejidad de los procesos del suelo, sino que también resalta la importancia de los microorganismos como aliados fundamentales en la gestión sostenible de los recursos naturales. Así, ambos organismos microbianos y animales actúan como auténticos bioingenieros del suelo, transformando residuos en vida y aportando soluciones ecológicas para la agricultura del presente y del futuro.

Las actinobacterias en la lombricultura

Las actinobacterias, comúnmente llamadas actinomicetos por su estructura filamentosa, pertenecen al grupo de bacterias Gram positivas y se distinguen por el elevado contenido de guanina y citosina en su material genético. Su presencia es amplia en diversos ecosistemas, incluyendo suelos agrícolas, ambientes marinos y sedimentos de cuerpos de agua dulce. Una de sus principales particularidades es la pared celular robusta, compuesta por abundante peptidoglucano, que les confiere resistencia mecánica y protección frente a variaciones osmóticas externas.



Figura 1. Lombrices, aliadas de la fertilidad del suelo desde tiempo antiguos.

Estas bacterias se encuentran dispersas en diferentes hábitats, como suelen ser en el suelo, mar, en los sedimentos de lagos y ríos. Se caracterizan por tener una pared celular gruesa y rica en peptidoglucano (es un componente que tiene una estructura como de una malla resistente que le otorga a la bacteria soporte, rigidez y protección contra las presiones osmóticas externas). Son parecidas a los hongos ya que forman unas estructuras filamentosas o forma de entre tejidos (parecido a una telaraña) y ramificadas que forman una red que se le denomina micelio que se asimila a los hongos. Son bacterias capaces de crecer en ambientes con una baja disponibilidad de nutrientes. Son reconocidas por su famosa producción de metabolitos secundarios (fabrican compuestos químicos que no son necesarios o requeridos para su crecimiento básico, pero les otorgan

ciertas ventajas competitivas y como defensas para su entorno). También tienen una alta producción de enzimas hidrolíticas, que son eficientes en la descomposición de materia orgánica compleja en componentes más simples. Estas enzimas les permiten degradar componentes resistentes de las plantas y animales muertos (celulosa, quitina lignina y proteínas). Producen antibióticos naturales y compuestos antifúngicos, que son sustancias químicas que pueden evitar el crecimiento o matan a los hongos, estas pueden actuar como un mecanismo de defensa. La familia de bacterias que se puede identificar en la vermicomposta es la *Streptomyces* (es la más frecuente y abundante) este microorganismo es quien le otorga ese olor característico a tierra mojada.

Entonces, ¿cómo están vinculadas las

actinobacterias con las lombrices? Hablemos de la lombricultura. Esta es definida como una actividad agropecuaria que consiste en criar lombrices en cautiverio, su propósito es transformar residuos orgánicos (desechos de frutas, verduras, estiércol de granjas, etc.) en humus de alta calidad que sirve de abono orgánico. Este abono natural se obtiene gracias a la acción digestiva de especies como *Eisenia foetida*, un tipo de lombriz reconocida por su elevada tasa reproductiva y gran capacidad en la descomposición de materia orgánica. El proceso, desarrollado bajo condiciones adecuadas aeróbicas, permite la mineralización y estabilización de los desechos, generando un producto rico en nutrientes y con gran valor para la agricultura sostenible.

Seamos más claros para explicar la relación entre lombriz y actinobacterias. Visualicemos a la lombriz como una fábrica. Una fábrica necesita materia prima para generar sus productos, en el caso de la lombriz esto sería la materia orgánica. Eso es lo que entrará a la línea de transformación, el intestino. A lo largo de este tubo lleno de sustancias de digestión, la materia orgánica se deteriora, descompone y nutre a la lombriz y también a muchos pequeños obreros que están dentro de ella, las bacterias. Lo más increíble es que las bacterias que viven ahí dentro

también están en constante reproducción, son colonias, comunidades enteras de obreros con residencia permanente en el intestino de la lombriz. Trabajan, claro, sin descanso, hasta en el mundo microbiano necesitas trabajar para tener seguridad social y derecho a una vivienda. Así, al final del trabajo duro de las bacterias y las sustancias digestivas de la lombriz, el producto es la extraordinaria lombricomposta.

Procesos de la biotecnología en la lombricomposta

¿Puede esto considerarse biotecnología? Respondamos esto juntos. Biotecnología es el uso de organismos vivos para lograr un fin humanamente útil o resolver una necesidad humana. En este caso estamos hablando de muchos seres vivos, iniciando por la lombriz, pero incluimos a esas comunidades microbianas que la acompañan.

Las actinobacterias juegan su rol y todos sus acompañantes también. Resulta que, hasta el día de hoy, no se tiene claro cuántas especies viven dentro de las lombrices rojas californianas, incluso se sabe que estas cambian según la dieta. Entonces, sí, cumplimos con el primer elemento, usamos seres vivos en un proceso. ¿Qué hay de satisfacer necesidades humanas? La lombricomposta

lombricomposta permite producir un abono para mejorar la calidad de los suelos para la producción de cultivos. Entonces, ¿puede considerarse biotecnología? Sí.

El desarrollo de la biotecnología como disciplina científica ha ayudado a la lombricomposta a lograr grandes procesos, ya que se han identificado actinobacterias capaces de aportar y transformar los residuos más rápido. Son mejor conocidos como bacterias descomponedoras y dentro de ellas se encuentran las más reconocidas por su mayor aportación en la lombricomposta que son *Streptomyces*, *Pseudomonas* y *Bacillus*. Ellas son capaces de romper vegetales, ligninas, que son el compuesto orgánico básico de los tejidos leñosos de las plantas, celulosa, proteínas y grasas.

Impacto agroecológico y social

Aunque ya existen de forma natural en el sistema, la integración de actinobacterias en la lombricomposta ha tenido un gran impacto en el ámbito agroecológico, ya que son de gran ayuda en la reducción de residuos y en el mejoramiento de los suelos gracias a los componentes que generan en su proceso de degradación. También ayuda en la mejora de retención de agua del suelo. El responsable de que haya una mejor retención del agua es el humus. Además,

el incremento de humus en suelos, lo hace mucho más resistente ante las sequías, de esta manera se consume menos agua y así favorece la economía del productor.

Es un producto que tiene la ventaja de utilizarse para cualquier cultivo por la calidad de nutrientes que proporciona. Este humus beneficia a las plantas ya que puede ayudar a que tengan una mejor absorción de nutrientes por medio de las raíces y así estimular el crecimiento por el alto porcentaje de nitrógeno. Por ello las plantas generan mayor resistencia a enfermedades y plagas.

Las actinobacterias tienen la capacidad de degradar compuestos complejos como son la celulosa y lignina, actúan eficientemente sobre esta materia predigerida por las lombrices, acelerando su humificación y en el ciclo de nutrientes.

Al estar presente en el vermicompostaje, estas actinobacterias pueden generar una mayor aceleración en la degradación y/o descomposición de los residuos orgánicos, en cultivos de hortalizas y de tipo frutal, incrementar su rendimiento y disminuyendo el uso de fertilizantes químicos lo cual es un beneficio extra para la salud humana.

Desde una perspectiva social, la combinación natural de actinobacterias y lombricultura genera abonos orgánicos

de alta calidad lo cual hace que se reduzcan el uso de fertilizantes y pesticidas químicos. Con esto se fomentan mejores prácticas agrícolas con más respeto hacia el medio ambiente, además que fomenta a largo plazo la salud y mejoramiento del suelo. Al mejorar la fertilidad del suelo, hace que estas prácticas tengan un aumento de rendimiento y mejor fertilidad de los cultivos. Lo cual nos ayuda a tener mejor acceso a alimentos frescos y saludables, siendo muy bueno para la salud alimenticia de las comunidades locales y con esto potenciar la creación de huertos urbanos y rurales.

En lo que refiere a la parte económica, la lombricomposta es una gran alternativa viable ya que esta puede ser implementada en pequeña escala en lugares rurales sin grandes inversiones y de ella obtener grandes beneficios, lo que va a permitir a los agricultores diversificar sus actividades, aumentar la rentabilidad de sus negocios agrícolas, generando ganancias extras a través de la venta de lombricomposta de alta calidad y reutilizando desechos orgánicos. Ya que sabemos que la lombricomposta aprovecha los residuos orgánicos agrícolas y los residuos de estiércol de granjas locales y vecinas, convirtiéndolos en recursos valiosos. En este enfoque se promueve

una economía circular a nivel local, ya que ayuda reducir la cantidad de desechos que van a terminar en vertederos y mantos acuíferos; minimizando el impacto en la contaminación del suelo y el agua. A raíz de esta actividad que se ha fomentado en algunas comunidades o espacios agrícolas, se podrá fomentar la participación activa y con ello la transferencia y herencia de un gran conocimiento de este proceso que se debe seguir perpetuando, generando una responsabilidad y más sensibilización hacia el cuidado del medio ambiente.

La combinación de actinobacterias y lombricultura representa un gran enfoque prometedor de biotecnología microbiana para la gestión sostenible de residuos orgánicos, aprovechando el trabajo en equipo que realizan estos microorganismos junto a las lombrices para acelerar la degradación de residuos y producir suelos de alta calidad.

Como sabemos todo proceso tiene algunos retos que se pueden presentar, en este tema de la lombricultura y las actinobacterias, pueden presentarse faltas de conocimiento sobre la microbiología del compostaje, ya que sin tener algún conocimiento sobre este proceso y los beneficios que

pueden aportar puede ser un reto a vencer, ya que si se tiene un control inadecuado esto puede dar como resultado en un producto final deficiente o un proceso incompleto. En otro aspecto también podemos ver que la interacción entre lombrices y estos microorganismos puede ser un poco compleja lo que podría dificultar la estandarización y optimización del proceso a escala industrial.

La falta de infraestructura, limitaciones prácticas debido a la falta de instalaciones, equipos o sistemas adecuados para poder manejar grandes volúmenes de los residuos de una manera eficiente y controlada. Otro gran reto al cual nos podemos enfrentar es al mantener las condiciones óptimas para ambas poblaciones (lombrices y microorganismos) el cual es crucial para llevar a cabo este proyecto.

Las variaciones que pueden tener también pueden afectar negativamente la actividad y la salud del sistema, por ello debemos tener un cuidado especial en la humedad, temperatura y el pH para así no tener alteraciones en ellos y se pueda cumplir correctamente con su ciclo final, manteniéndolos en un ambiente estable para ambas partes. Sin embargo, existen oportunidades significativas que se pueden implementar y que esta tecnología escale manteniendo su integridad.

La identificación y aislamiento de las cepas de actinobacterias eficientes, abre la puerta al uso y creación de bioinoculantes específicos (productos especializados que contienen cepas específicas de microorganismos) para así con ellos mejorar la eficiencia del vermicompostaje y también para aplicaciones directas en mejorar la productividad y/o mantenimiento de los cultivos.

Este proceso o esta biotecnología ofrece una solución ecológica y económica viable para la gestión de residuos, haciendo de este un problema ambiental a insumos valiosos para la agricultura sostenible.

Conclusión

El enriquecimiento dirigido de forma artificial entre actinobacterias y lombrices en el proceso de vermicompostaje conforma un campo emergente de la biotecnológica microbiana con repercusiones profundas para la sostenibilidad agropecuaria. Investigaciones recientes demuestran que las actinobacterias son una fuente clave en la transformación de la materia orgánica, necesarias para mejorar la calidad final del producto y, con ello, la salud de los cultivos. Esto puede contribuir a la reducción de la dependencia de agroquímicos sintéticos.

Las actinobacterias y comunidades microbianas asociadas a las lombrices colaboran al acelerar la descomposición de residuos orgánicos complejos, lo cual genera humus de alta calidad con propiedades superiores para la retención de agua y nutrientes. El vermicompostaje es entonces entendido como un proceso ecotecnológico de bajo costo y se ha afianzado como una gran alternativa viable para la gestión de residuos urbanos y agropecuarios, permitiendo la bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica bajo condiciones aerobias. La mezcla de éstas 2 protagonistas lombrices (*Eisenia foetida*) y actinobacterias, al incrementar la eficiencia del proceso de descomposición también favorece la regeneración de suelos degradados y la capacidad de adaptación frente al cambio climático.

Lecturas recomendadas

- Aira, M., Monroy, F., & Domínguez, J. (2007) *Eisenia fetida* enhances microbial biomass and activity in pig manure. *European Journal of Soil Biology*, 43(1), S25–S29.
<https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.020>
- Bhatti, A. A., Haq, S., & Bhat, R. A. (2017) Actinobacteria: Nature's antibiotics factory. *Biotechnology Advances*, 35(2), 201–223.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.12.003>
- Domínguez, J., & Gómez-Brandón, M. (2010) The influence of earthworms on nutrient dynamics during the process of vermicomposting. *Waste Management & Research*, 28(5), 456–463. <https://doi.org/10.1177/0734242X09353027>
- Gómez-Brandon, M., Lores, M., & Domínguez, J. (2010) A rapid and efficient strategy for assessing the effects of vermicomposting on organic matter through changes in nitrogen forms. *Bioresource Technology*, 101(10), 3718–3723.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.009>
- Hu, D., Sun, C., Jin, T., Fan, G., Mok, K. M., Li, K., & Lee, S. M.-Y. (2020) Natural products from actinobacteria: Chemistry and biology. *Journal of Antibiotics*, 73(6), 1–15.
<https://doi.org/10.1038/s41429-020-0301-5>
- Moreno, J., Vargas-Machuca, A., & Pérez, R. (2014) Microbiología del compostaje: Retos y oportunidades. *Revista Española de Biotecnología*, 19(3), 233–245.
- Nair, J., Sekiozoic, V., & Anda, M. (2005) Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology*, 96(4), 513–518.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.041>
- Quiñones-Aguilar, E. E., et al. (2010) Actinobacterias en suelos agrícolas: Diversidad y funciones ecológicas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 52(2), 123–134.
- Schwerter, M. (2024) Actinobacterias y su papel en la humificación de residuos orgánicos. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*, 165, 108–119.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.108119>
- Vargas-Machuca, A. (2010) Microbiología aplicada al compostaje y vermicompostaje. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

CAPÍTULO 7.

EL EXTENSO MUNDO DE LOS VIRUS GIGANTES, MOLOSOS INCOMPARABLES

Zamudio, Zamudio, Ismael¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

En el año 1992 se descubrió en Bradford (Reino Unido) un microorganismo que parecía una bacteria, el cual se identificó en 2003 que era un virus gigante nombrado Mimivirus. Este hallazgo demostró que los virus no siempre eran simples organismos, posteriormente se identificaron otras familias como; Marseillevirus, Pandoravirus, Pithovirus, Mollivirus y Medusavirus, lo que modificó las posturas convencionales sobre los virus. Las transferencias tecnologías como la secuenciación genómica, la microscopía electrónica y la metagenómica posibilitaron su estudio detallado. Los virus gigantes presentan cápsides de gran tamaño, prolongaciones superficiales, membranas intracapsidales y un portal estelar para liberar su transcripción genética. Presentan genomas de gran tamaño: Mimivirus supera los 1,000 genes y Pandoravirus salinus tiene alrededor de 2,500. Presentan muchos genes sin homología conocida (ORFans) y participación en procesos celulares. Las familias de los virus gigantes Mimiviridae, Pandoraviridae, Pithoviridae, Molliviridae y Medusaviridae revelan diversidad genética. Su ciclo comienza cuando el virus entra a la ameba por un proceso de ingestión similares a la fagocitosis. En el interior de la célula forman fábricas virales donde replican y ensamblan nuevos organismos y finalizan con la lisis celular. Estas infecciones influyen en la ecológica microscópica afectando a las amebas y la distribución de nutrientes. Su investigación se relaciona con la microscopía, secuenciación, metagenómica y bioinformática. Los virus gigantes generaron debates evolutivos por su complejidad molecular y su repertorio genético único. Su hallazgo redefinió la comprensión de los virus y expandió el conocimiento sobre la vida microscópica.

Palabras clave. Virus de ADN, virus gigante, mimivirus, pandoravirus, pithovirus, mollivirus, microbiología, transferencia de tecnologías, secuenciación.

Introducción

¿Sabías que existen virus tan grandes como una bacteria? ¿no? Pues bien, a continuación, explicaré como en el año 1992, en medio de una investigación, se descubrió en un brote de neumonía en Bradford (Reino Unido) en una torre de agua un microorganismo que por su apariencia y tamaño se creyó erróneamente que era una bacteria, a la que llamaron Bradford cocos. En el año 2003, La Scola y Raoult comprobaron que ese microorganismo no era una bacteria sino más bien un enorme virus, conocido hoy en día como Mimivirus. Por décadas los virus se consideraron organismos diminutos y simples con genomas con contenido genético mínimo, a continuación, explicaremos que tan equivocada estaba esta información. En los últimos años se han descubierto diferentes grupos de virus gigantes: Mimivirus, Marseillevirus, Pandoravirus, Pithovirus, Mollivirus, Medusavirus.

Los virus gigantes pusieron en duda las limitaciones tradicionales entre los virus y las células. Madigan et al. (2018) describe que los virus ya existentes son entes acelulares sin metabolismo, pero los virus gigantes tienen genomas más grandes y estructuras complejas que cambian esa idea existente al respecto. Este descubrimiento sorprendió a la microbiología, ya que fue evidente que los métodos usados para definir a los

virus de cierta manera habían dejado de ser funcionales. En consecuencia, veremos como el conocimiento y el uso de la transferencia de tecnología como las siguientes: secuenciación genómica, bioinformática, metagenómica ambiental y microscopía electrónica, ayudaron a que estos organismos se identificaran. Un virus es una partícula de código genético, sea ADN o ARN, encapsulada por una vesícula de proteínas. Un virus no puede replicarse por sí mismo, necesita infectar a una célula con la intención de hacer uso de los componentes y maquinaria celular de la célula huésped para producir copias de sí mismo (Graham, 2020). Es decir, que podemos visualizar a un virus como un pequeño intruso el cual penetra dentro de la célula para hacer uso de ella, obligándola a generar una gran cantidad de réplicas de el mismo. La definición anterior puede parecer técnica y precisa, pero hay que dejar algo en claro, definir a un virus nunca ha sido del todo fácil; porque históricamente han salido a la luz, diferentes definiciones, algunas más aceptadas que otras, las cuales están en constante cambio con base en los descubrimientos cotidianos.

Actualmente, la definición más aceptada en el medio deriva de la propuesta de Lwoff, donde entre otras características, refiere su capacidad de infección que debe ser estrictamente intracelular,

poseer un solo tipo de ácido nucleico, multiplicarse en forma de material genético, y carecer de un sistema metabólico.

Como se mencionó con anterioridad en el año 2003, La Scola, Raoult y su equipo publicaron un artículo en la revista Science, el cual llevó por título, (un virus gigante en amebas). En el cual, anunciaron el descubrimiento y las características del Mimivirus, redefiniendo el concepto de los virus y dio inicio al campo de estudio de los Virus Gigantes.

Antecedentes del estudio viral

La historia de la virología comenzó con la idea que los virus eran organismos imperceptible capaces de pasar a través de filtros que retenían bacterias. Con el tiempo desarrollaron técnicas para identificar su presencia, como cultivos celulares y microscopia electrónica. Pero los criterios iniciales que se usaron para definirlos surgieron en un ambiente donde la mayoría de los virus conocidos contaban con rasgos similares: genomas reducidos, tamaño nanométrico, ciclos de réplicas utilizando la maquinaria celular de la célula hospedera. Durante décadas, estos criterios fueron suficientes para describir todos los virus conocidos.

La percepción general establecía que el tamaño era el parámetro más confiable:

si un microorganismo podía verse en un microscopio óptico, por ningún motivo podía ser un virus. Esta suposición tomó fuerza por resultados obtenidos en estudios de diversas familias de virus y apareció incluida en las ediciones de referencias de Tortora et al. (2020), Madigan et al. (2018) y Prescott et al. (2019). El descubrimiento de microorganismos virales con tamaños que superaban este límite teórico marcó un punto de inflexión. La identificación del Mimivirus fracturó el criterio de invisibilidad viral y puso en duda la idea de simplicidad genética.

Los estudios posteriores demostraron que existían virus con grandes genomas y estructuras internas complejas, características que no se habían relacionado con microorganismos no celulares. A partir de ahí se abrió un nuevo campo de investigación dentro de la virología, orientado en el análisis de estos virus de gran tamaño, su origen evolutivo y su papel en la ecología de microorganismos.

Una mirada al extenso e interesante mundo de los virus

Los escritos de microbiología han definido a los virus como agentes infecciosos sin estructura celular conformados por material genético dentro de una cápside proteica. Según Tortora et al. (2020), esta forma básica

cumple con la función principal del virus: ingresar su información dentro de la célula para que en esta se realice la producción de nuevos organismos. En la mayoría de los virus, esta estructura se mantiene simple y estable. Madigan et al. (2018) destaca que los virus carecen de ribosomas, metabolismo, división celular y mecanismos propios de generación de energía (ATP). Su existencia depende por completo de la maquinaria bioquímica de la célula hospedera. La simplicidad se extiende también al genoma, ADN o ARN. Prescott (et al. 2019) explica que gran parte de los virus contienen instrucciones mínimas: genes para codificar proteínas de la cápside, enzimas necesarias para realizar la replicación y algunas funciones asociadas al empaquetamiento. El ciclo de replicación típico consiste en la adhesión a la superficie celular, la penetración, la liberación de genoma, la síntesis de componentes, el ensamblaje y salida. Este proceso común entre numerosos virus les permitió construir un modelo general que por años sirvió como referencia para comprender la replicación viral.

Previo al descubrimiento de los virus gigantes, estas características parecían universales. El tamaño microscópico, su simplicidad estructural y la economía genética eran parte de fisiología misma del virus. No obstante los descubrimientos

relacionados con Mimivirus y otros virus gigantes demostraron que estas características no definían a todos los microorganismos del mundo viral. Fue entonces en ese momento que se abrió la posibilidad de las restricciones entre virus y organismos celulares fueran más amplios de lo que tradicionalmente se planteaba.

Cuando lo microscópico es gigante

Los virus gigantes se distinguen por un conjunto de estructuras que no coinciden con la simpleza atribuida históricamente a los virus. La observación detallada de su estructura revela una estructura anatómica más compleja, que incluye una cápside de grandes dimensiones, prolongaciones externas y zonas especializadas unidas al proceso de infección (Figura 1).

Estos elementos, descritos en análisis iniciales y ampliados por estudios posteriores, fueron relevantes para reconocer que se trataba de un tipo de virus completamente distinto del modelo convencional. Un rasgo llamativo del Mimivirus es la presencia de fibras que recubren la superficie de la superficie de la cápside. Estas prolongaciones pueden alcanzar longitudes considerables y dan al virión una apariencia inusual. Se piensa que este recubrimiento cumple una función

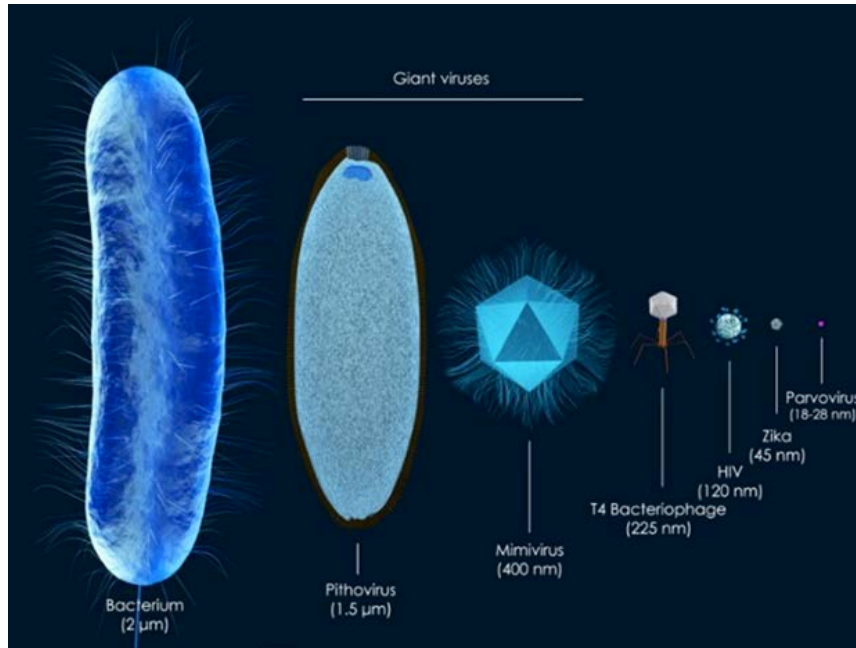


Figura 1. Comparación del tamaño de la estructura dispersiva de diversos virus frente a la bacteria *E. coli*. Fuente: Aimerdiaz, 2026.

en el reconocimiento inicial por parte de la ameba hospedera, favoreciendo su invasión celular mediante procesos parecidos a la fagocitosis. El tamaño de la cápside es otro rasgo distintivo. Los virus gigantes pueden medir cientos de nanómetros de diámetro, lo que permite observarlos incluso mediante microscopía óptica.

Este hecho contradijo la idea establecida en obras como las de Tortora et al. (2020), donde el tamaño viral se representaba como un rasgo limitante que los diferenciaba claramente de células procariotas y eucariotas. Otro componente sobresaliente en su estructura, es una región que funciona como portal de apertura. Esta área se activa durante la infección y permite la

liberación del material genético viral. El mecanismo se distingue por su organización geométrica y por su papel necesario en la transición entre el virión y el inicio del ciclo de replicación en la célula. La existencia de un portal tan especializado desafía el principio clásico de virus como estructuras con funciones mínimas. Finalmente, en la organización interna se reconocen membranas que envuelven al genoma, lo que proporciona un nivel adicional de protección y organización. Este tipo de compartimentación es poco frecuente entre virus típicos y representa uno de los rasgos más citados por autores como Abergel y Claverie (2015) en los debates científicos sobre posibles asociaciones evolutivas con formas de vida antigua.

Laboratorio evolutivo en el genoma viral

La dimensión del genoma es una de las características más sobresaliente de los virus gigantes. Mientras que la mayoría de los virus conocidos posee genomas de pocas decenas de genes, Mimivirus supera los 1,000 genes, lo que ya representaba un cambio significativo con lo establecido. El descubrimiento de *Pandoravirus salinus*, con más de 2,500 genes, llevó esta ruptura a un nivel sin precedentes. Estos valores son comparables, e incluso superiores, a los genomas de diversas bacterias de vida libre. La complejidad genética de los gigantomavirus plantea un conjunto de preguntas sobre la historia evolutiva de estas partículas (Figura 2).

Un aspecto particularmente llamativo es la gran cantidad de ORFans, genes sin homologías claras en bases de datos existentes. La presencia de tantos genes únicos sugiere que una parte importante del mundo microbiano sigue siendo desconocida o que estos virus conservan elementos de linajes antiguos que no han sido identificados en otros organismos. Los análisis genómicos revelan también que los gigantomavirus poseen genes relacionados con procesos considerados tradicionalmente exclusivos de células, como ciertos pasos asociados a la reparación del ADN o la modulación de

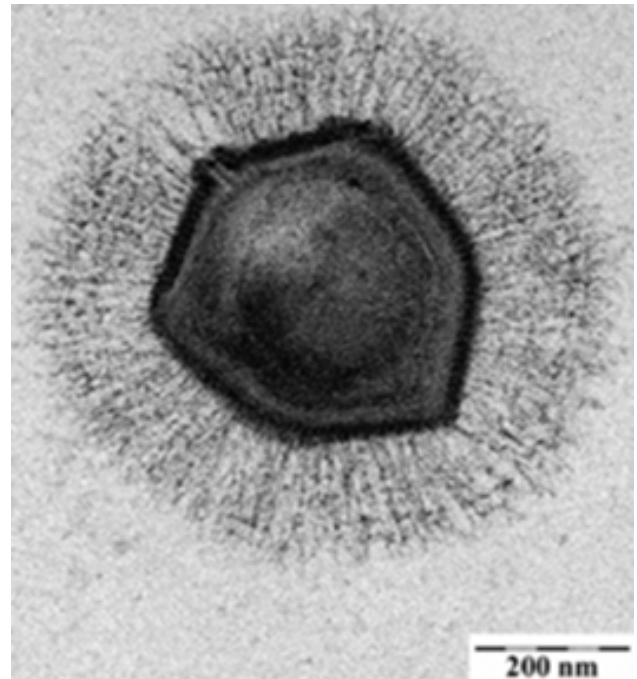


Figura 2. Microscopía electrónica de una partícula de Mimivirus. Fuente: Wikipedia, 2026.

funciones del hospedador iden. Aunque estos genes no representan autonomía metabólica, sí aportan evidencia de una mayor complejidad funcional. La diversidad genética encontrada entre las distintas familias de gigantomavirus también es notable (Figura 3).

Mimiviridae, Pandoraviridae, Pithoviridae, Molliviridae y Medusaviridae presentan variaciones marcadas en contenido genético, arquitectura del virión y estrategias de replicación. Esta diversidad sugiere que la evolución de los virus gigantes ha seguido múltiples trayectorias, posiblemente influenciadas por los ambientes donde se desarrollan y las características de sus hospedadores.

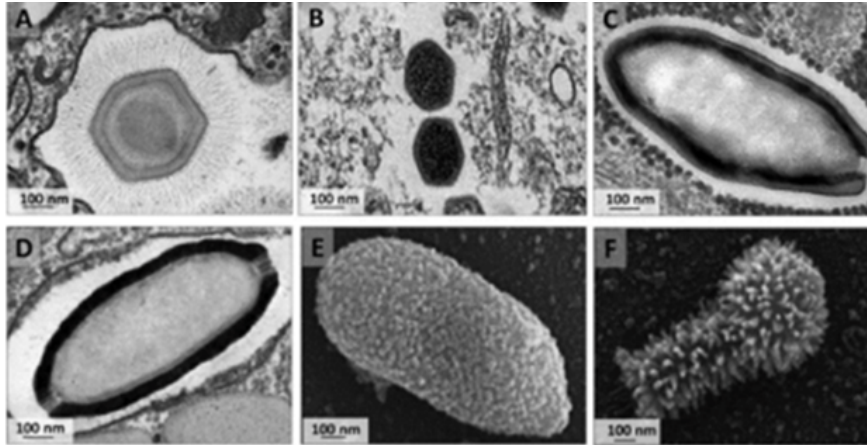


Figura 3. Imágenes de virus gigantes obtenidas por microscopía electrónica, tanto de transmisión como de barrido. Se muestran los siguientes tipos: A) Mimivirus, B) Marisvirus, C) Pandoravirus, D) Cedratvirus, E) Orpheovirus y F) Fupavirus. Fuente: Leal y Hernández, 2022.

Conclusión

La investigación de los virus gigantes cambió la comprensión de las barreras entre virus y células. Durante mucho tiempo se asumió que los virus eran partículas pequeñas, simples y con limitaciones marcadas. El descubrimiento de entidades como Mimivirus, Pandoravirus y Pithovirus obligó a replantear esos supuestos y demostró que la variedad viral es mucho más extensa de lo que se había considerado.

Los rasgos estructurales, el tamaño de sus genomas, sus estrategias de replicación y su presencia en diversos ecosistemas indican que estos virus representan una parte significativa del mundo microscópico.

Su complicación también produjo preguntas sobre evolución, ecología y tecnología. La información reunida a

a través de la microbiología tradicional y los estudios actuales permite reconstruir un panorama completo de estos microorganismos, que continúan cuestionando la forma en que se conciben las fronteras biológicas. A medida que se desarrollan nuevas transferencias tecnológicas y se exploran ambientes poco analizados, es probable que la diversidad de los virus gigantes incremente. Cada nuevo hallazgo aumenta el entendimiento sobre la vida microscópica y demuestra que el ámbito viral todavía guarda sorpresas que modifican conceptos establecidos. La investigación de estos virus seguirá contribuyendo elementos para replantear la naturaleza misma de la vida y su evolución.

Lecturas recomendadas

- Aimerdiaz (2026) Biovirologia. Disponible en: <https://aimerdiaz.github.io/Bio-Virologia/gigavir.html>
- Barik, S. (2018) A Family of Novel Cyclophilins, Conserved in the Mimivirus Genus of the Giant DNA Viruses. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 231–236. <https://doi.org/10.1016/J.CSBJ.2018.07.001>
- La Scola, B., Audic, S., Robert, C., Jungang, L., De Lamballerie, X., Drancourt, M., Birtles, R., Claverie, J. M., & Raoult, D. (2003) A giant virus in amoebae. *Science (New York, N.Y.)*, 299(5615), 2033. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1081867>
- Leal, A. A., Hernández, J. (2022) Virus gigantes: En contra del orden conocido. *RD-ICUAP*, 8(12), 87-103. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2022.22.686>
- Legendre, M., Bartoli, J., Shmakova, L., Jeudy, S., Labadie, K., Adrait, A., Lescot, M., Poirot, O., Bertaux, L., Bruley, C., Coute, Y., Rivkina, E., Abergel, C., & Claverie, J.-M. (2014) Thirty-thousand-year-old distant relative of giant icosahedral DNA viruses with a pandoravirus morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(11), 4274–4279. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320670111>
- Legendre, M., et al. (2013) Pandoraviruses: Amoeba viruses with genomes up to 2.5 Mb reaching that of parasitic eukaryotes. *Science*, 341(6143), 281–286.
- Lwoff, B. A. (1957) The Concept of Virus The Third Marjory Stephenson Memorial Lecture. *Journal of General Microbiology* Was Issued On, 17(1), 239–253.
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. (2018) *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Wikipedia (2026) Mimivirus. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Mimivirus>

CAPÍTULO 8.

PECES KOI Y LA TANATOLOGÍA ¿UNA HERRAMIENTA TERAPÉUTICA?

Carreto Blanco, Yuriana¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

En el presente capítulo trato un tema tanto delicado como doloroso para las personas que estamos enfrentando un duelo, tan es así que al abordar este tema debemos de tener mucho cuidado para no causar un sentimiento que pueda afectarnos más. La tanatología es un estudio científico que apareció desde muchos años atrás refiriéndonos a ella o dándole el significado del estudio o el proceso que lleva una pérdida, y no nos referimos solo a pérdidas humanas, sino a toda clase de procesos que nos afecta como personas, perdidas laborales, materiales, espirituales, de alguna mascota querida. Un factor importante en ella son las terapias que los profesionales de salud nos ofertan para poder sobrellevarlas. Recientemente, se empezaron hacer populares en nuestro país una clase de peces conocidos mundialmente por su significado de perseverancia, esfuerzo, lucha continua, belleza y sabiduría, llamados y conocidos como los fabulosos peces Koi, originarios de Asia, específicamente China y una especie que ha sido objeto de grandes estudios en acuicultura. Ahora fusionando estos dos grandes temas nos llevan a una gran oportunidad de estudio que se llama “Terapia con peces, una herramienta terapéutica” tema el cual me es muy grato desarrollar en este presente capítulo.

Palabras clave. Tanatología, duelo, pérdidas, terapia, peces Koi.

Introducción

Durante varias décadas el estudio, investigación o prácticas sobre cómo enfrentar pérdidas de cualquier índole a lo largo de nuestra vida ha dado frutos. Un gran logro es unir las terapias con la interacción de animales y con el paso del tiempo nos hemos dado cuenta que ha dado resultado. Las terapias profesionales, ofertadas o investigadas sobre la observación de peces Koi dan como resultado serenidad y tranquilidad en los pacientes. Los pacientes reportan que la placidez que los peces ofrecen al ser observados combinado con la belleza de estos mismos y la calma del entorno acuático, ayudan a relajar nuestro espíritu y mente y hacer crecer sentimientos de bienestar y felicidad. La terapia al estar frente a una pecera con estas especies nos proporciona calma y bienestar, además de servir como una forma de práctica terapéutica ante las dificultades que estemos presentando. Por lo tanto, han sido elegidos entre cientos de especies para su estudio.

Hablando de duelos en este caso, resulta controversial darle un significado específico, ya que cada persona presenta una problemática, dificultad, pérdida, o un sentimiento diferente. Entonces, nos referiremos al cómo reaccionamos a una pena o pérdida que nos aflige o desequilibra

nuestra paz y espíritu. No se tiene una respuesta exacta disponible a la pregunta ¿en qué momento acaba el duelo? por lo que el proceso tiene varias etapas y lleva su tiempo. Sin embargo, existen hoy en día investigaciones las cuales dicen que es un periodo de 12 meses normalmente. Si después de este periodo el duelo no es superado y no existe mejoría ya se pensará en un proceso patológico. Por lo tanto, si continúa y no logramos superarlo con las terapias complementarias sugeridas, se debe intervenir de otra manera para lograr la resolución del mismo.

Acudir a herramientas para enfrentar este proceso es una conducta normal, natural y también recomendable o en su caso pedir cita con un profesional en el tema para el manejo de nuestro duelo. La literatura científica sugiere que este proceso nos llevará a encontrar a esa persona estable y serena dentro de nosotros- Las terapias ahora complementadas con peces Koi a través de la observación se convierte en una forma de meditación necesaria para encontrar en nosotros una pausa mental, en la que nos podemos despojar u olvidar con el paso del tiempo de nuestros problemas cotidianos, sentarnos ante la majestuosidad de esta especie, observar sus movimientos tranquilizantes y colores indescriptibles nos llevan a un punto de meditación y relajación en la que desconectaremos nuestra mente del

problema a superar. En la actualidad existen hospitales, clínicas, centros de rehabilitación o estancias para adultos mayores que están optando por terapias tan naturales como esta para ofrecer a sus pacientes y dando excelentes resultados.

Leyenda del pez Koi

Cuenta la historia que mucho tiempo atrás existió un río azul el cual fluía desde las nubes, y un río dorado que fluía desde la tierra habitada, a estos dos ríos los separaba un gran portal llamado “El portal del Dragon”. El río dorado en la tierra fue llamado de esa forma por el color oro de sus aguas, era el último lugar donde podían nadar pacíficamente los residentes del mar, ya que existieron personas supremas en esta área que se creían los dueños de todo y destruían todo a su paso.

Entre todas estas especies que habitaban la región, los peces Koi resaltaban por su belleza. Esta especie era considerada divina por sus inmensos colores profundos. Uno de ellos, el mayor de color negro, era el padre Koi, acompañado por un hermoso pez azul turquesa profundo que era de un gran encanto enigmático, su hijo.

La más grande meta de este pequeño pez Koi era llegar a las aguas del río azul, su padre le contó que, en algún tiempo, no existían barreras entre un

lugar y otro y eran libres de nadar en las aguas. Existía otro tipo de peces valientes y desafiantes llamados peces Dragón, que eran como perlas e iluminaban toda oscuridad. La entrada a este gran paraíso se encontraba río arriba y traspasando el portal del Dragón, se llegaba a la gran cascada del río azul. Cuenta la leyenda que a todo pez que desafiara las aguas y llegara a la cima, le otorgaban unas grandes aletas doradas para poder volar en el cielo cuantas veces quisiera.

Después de pensarlo el pequeño pez Koi tomó la decisión de nadar contra la corriente para cumplir su meta. No importaban los obstáculos ni su diminuto tamaño, aferrado a sus sueños tomó su camino río arriba. Los demás peces no lo siguieron, ya que para los demás fue muy cómodo solo nadar contra la corriente y no hacer esfuerzos. Aquello parecía un desafío imposible ante los ojos de toda la multitud, ellos pensaban que un diminuto pez nunca sería capaz de cumplir tal hazaña, solo lo miraban aletear y chapotear con todo su esfuerzo posible pero no lograba avanzar mucho, esto despertó la furia de los monstruos malos del río e intentaron poner dificultades al aumentar la corriente para que el pez no cumpliera su sueño.

Al final logró vencer todos los obstáculos que se le presentaron en el camino, utilizó su cuerpo pequeño que era lo único que poseía aparte de su fe, así logro llegar a su meta luchando contra

todo, corriente río arriba, tal fue su hazaña que los Dioses intervinieron para ayudarlo pacificando las aguas, al final al pequeño pez le fueron otorgadas sus grandes y preciosas aletas doradas para volar por los cielos como alguna vez su padre le contó.

Aprendizaje

A lo largo de nuestra vida nos encontraremos multitud de dificultades y problemas para los cuales tendremos que nadar contra la corriente como lo hizo el pez. Por eso, debemos perseverar y seguir remando, con el objetivo que queremos alcanzar y superarlo, siempre tener en mente los logros, si se superan todos los obstáculos nos convertiremos en un precioso Pez Dragón, podremos tener una vida tranquila y disfrutar de ella.

El significado actual que tenemos de los peces Koi varía, los encontramos en la literatura como peces pacíficos, perseverantes, majestuosos, fuertes, capaces de superar todo obstáculo, símbolo de abundancia y superación; sin embargo, es importante destacar que la palabra Koi, significa “afecto o amor” dando paso así a diferentes estudios e investigaciones para su aplicación en terapias de ayuda, cuyos hallazgos están siendo reportados en revistas científicas como Environment and Behavior. Esto nos da como

resultado que este tipo de terapias con peces Koi ayudan a equilibrar nuevamente el estado de ánimo, ofrecen tiempo de relajación, entre más tiempo invertido se logran grandes beneficios para el bienestar físico y mental. Principalmente, esta terapia es auxiliar para reducir el estrés y la ansiedad. Algunos otros beneficios encontrados son la mejora en nuestro estado de ánimo y así mismo la concentración. Entre otros grandes beneficios en salud se encuentra la estabilidad de constantes fisiológicas como bajar la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria, se estabiliza la presión arterial, se mantiene al paciente en un periodo de tranquilidad y serenidad y esto ayudara a su pronta recuperación y superación.

Existen algunos puntos que nos indican que la persona tratada se recupera los cuales son los siguientes: La capacidad de recordar y hablar de la persona amada o del problema presentado sin llorar ni desconcertarse, la capacidad de establecer nuevas y mejores relaciones y de aceptar los retos de la vida, esto es un gran paso. Un punto de gran importancia es que ayuda para conciliar el sueño tranquilizando la mente y este es un gran paso significado de recuperación. El gran objetivo que tenemos en estudio ahora será ofrecer un entorno de paz y armonía, donde la persona tratada pueda expresar su problemática, pueda hablarlo, después de un periodo de

terapia se verá la mejoría, observando como la perdida es superada y dando así paso a nuevas metas, nuevos proyectos y mejora individual, familiar y social.

Un aspecto muy importante por considerar es que esta herramienta, este tipo de terapias solo pueden tener éxito si el doliente decide aceptar la ayuda, no se aplicará de manera inmediata por obvias razones ya que en las primeras etapas del duelo el paciente necesita vivir y expresar su dolor, forzar una terapia también puede bloquear o retrasar el proceso natural de la aceptación y por lo tanto nuestra herramienta no tendría éxito, será cuando la persona se sienta preparada (Figura 1).

Conclusión

Después de este análisis sobre la terapia de acuarios Koi aplicada a la tanatología, se tiene que este tipo de herramientas no busca lucrar o acelerar procesos naturales, sino ofrecer a las personas un espacio donde estas mismas puedan reflexionar, encontrarse con su espíritu perdido y necesitado de comprensión, algo muy importante es que en esos momentos de no lucidez lo que menos queremos es ayuda de personas. Necesitamos otro tipo de seres, aquellos que no nos juzguen, que no nos interrumpan y que nos ofrecen calma con su mirada, movimiento y belleza, ofrecer acuarios destinados a este

propósito ayudará como herramienta básica electiva para los que así la requieran, el empleo de los peces Koi es un elemento muy acertado debido a su significado y también sabemos que existe una parte enigmática en ellos la cual es la base para el éxito. En lo personal estoy consciente que esta herramienta no sustituye a métodos médicos, pero llego a la conclusión de que fusionados puede haber una recuperación más rápida y con una alta tasa de aceptación de la persona a tratar.



Figura 1. Terapia con peces Koi.

Lecturas recomendadas

- Meza Davalos, Erika G; García, Silvia; Torres Gómez, A; Castillo, L; Sauri Suarez, S; Martínez Silva, B (2008) El proceso del duelo, un mecanismo humano para el manejo de las pérdidas emocionales. Revista de Especialidades Médico Quirúrgicas. 13(1):28-31

CAPÍTULO 9.

BIOMEDICINA DEL COLÁGENO REGENERADOR

Hernández Flores, Estefani¹, Rojas Velázquez, Briana¹, Pacheco León, Estefanía¹, Santiago Martínez, Luis David¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

Este estudio aborda la importancia del colágeno tipo II dentro de la biomedicina regenerativa, destacando su papel esencial en la reparación de tejidos, especialmente de la piel. Explica como esta proteína, que disminuye naturalmente a partir de los 25 años, influye en el envejecimiento articular, la aparición de dolor y la pérdida de elasticidad cutánea. El colágeno funciona como un “andamio biológico”, utilizado en terapias regenerativas, piel artificial y biotecnología médica. Además, se menciona el colágeno sintético, producido mediante ingeniería genética, aunque con eficacia variable en cuanto a su integración en el cuerpo. Diversos estudios indican que el colágeno tipo II no desnaturalizado puede activar mecanismos inmunológicos que reducen la inflamación y favorecen la regeneración de cartílago, a diferencia del colágeno hidrolizado tradicional. También se describe su beneficio potencial en enfermedades como la osteoartritis, la artritis reumatoide, lesiones deportivas y daños en piel.

Palabras clave. Colágeno tipo II, medicina regenerativa, regeneración de cartílago.

Introducción

El término “regeneración” se refiere a la capacidad que tiene el organismo humano de tratarse y curarse a sí mismo. Los grandes componentes de la medicina regenerativa son las células madre y colágeno, los factores de crecimiento encargados de estimular a las células madre y de potenciar la regeneración del tejido y la matriz extracelular (conocida como andamiaje o scaffold), que sirve de soporte para la proliferación de las células madre y generación de tejido, abriendo las puertas a lo que se vislumbra como una nueva fuente de órganos a ser trasplantados. En este capítulo se presenta una revisión de los fundamentos científicos y biotecnológicos del colágeno regenerador.

El colágeno tipo II es una proteína fibrilar que forma parte del cartílago hialino, un tejido esencial para el correcto funcionamiento de las articulaciones. Su estructura específica permite formar una red compacta y elástica que amortigua los impactos y facilita el movimiento. Es el tipo de colágeno dominante en las articulaciones, representando alrededor del 90% del colágeno presente en el cartílago.

El poder oculto del colágeno tipo II:

¿Puede el cuerpo regenerar su propio cartílago? ¿Sabías que nuestros huesos y articulaciones no se desgastan por el paso del tiempo... si no por lo que

dejamos de darle a nuestro cuerpo? El colágeno tipo II es la proteína esencial que da estructura y elasticidad al cartílago articular, esa capa que permite que nos movamos sin dolor. Sin embargo, a partir de los 25 años, el cuerpo reduce su producción natural, provocando rigidez, inflamación y dolor que, con los años, puede evolucionar a enfermedades como la osteoartritis.

Hoy la ciencia nos reta a preguntarnos: ¿Podría el colágeno tipo II ayudar a reconstruir o proteger el cartílago articular o regenerar la piel dañada? Otra de las preguntas e incógnitas que se tiene respecto al colágeno es ¿Realmente es capaz de frenar el envejecimiento articular y recuperar la movilidad perdida? estas son algunas de las preguntas que se tiene sobre el colágeno, ya que muchos expertos lo han llamado “milagroso” por sus ricos beneficios que aporta a la salud, ósea y dermatológica.

Diversos estudios clínicos sugieren que el colágeno tipo II no desnaturalizado, puede activar un mecanismo inmunológico que reduce la inflamación y estimula la regeneración del cartílago. A diferencia del colágeno hidrolizado común, este actúa directamente en la tolerancia oral del sistema inmune, ayudando a que el cuerpo “deje de atacar” su propio tejido articular y lo repare.

El colágeno tipo II: ¿La llave biológica para regenerar lo que creíamos perdido?

¿Alguna vez te has preguntado por qué, con el paso de los años, nuestras rodillas crujen, los movimientos duelen y la piel pierde su firmeza natural?, ¿y si la respuesta no estuviera en el envejecimiento en sí, sino en una proteína silenciosa que dejamos de producir: el colágeno tipo II? El colágeno tipo II puede convertirse en la herramienta que la ciencia necesita para reparar el cartílago dañado por enfermedades como la osteoartritis o la artritis reumatoide, esta proteína forma parte esencial de los tejidos conectivos y del humor vítreo del ojo, es posible que también influya en la elasticidad y firmeza de la piel.

El colágeno tipo II constituye hasta el 90% del colágeno presente en el cartílago hialino, responsable de amortiguar las articulaciones y permitir movimientos sin fricción. En enfermedades como la osteoartritis y la artritis reumatoide, el sistema inmunológico destruye este colágeno, provocando dolor, rigidez y desgaste. Por otra parte, también es importante el consumo de colágeno tipo II para deportistas ya que naturalmente ocurre un desgaste y es necesario regenerar articulaciones para mejorar su calidad de vida. Sin embargo, estudios recientes muestran que el colágeno

tipo II no desnaturalizado, puede modular la respuesta inmune y reducir la inflamación, estimulando al cuerpo a reparar el cartílago en lugar de degradarlo, en un estudio doble ciego, los pacientes que tomaron 40 mg diarios de colágeno durante 90 días mejoraron la flexibilidad y redujeron el dolor articular comparado con placebo.

¿Y si en lugar de reemplazar el cartílago con cirugías, pudiéramos enseñarle al cuerpo a reconstruir? Con el colágeno tipo II es posible, aunque el colágeno tipo I es el más abundante en la piel, el tipo II también participa en la estructura dérmica. Investigadores sugieren que el colágeno tipo II puede contribuir a la regeneración de tejidos dañados por radiación, heridas casi imposibles de curar y quemaduras, ya que al tener una capacidad de atraer el agua y mantener la integridad del tejido conectivo ayuda a conservar la elasticidad cutánea.

Además, estudios en modelos animales mostraron que la suplementación con colágeno tipo II favorece la síntesis de ácido hialurónico y proteoglicanos, elementos claves para mantener la piel hidratada y flexible. ¿Podría el mismo colágeno que se encarga de proteger tus articulaciones también rejuvenecer tu piel desde adentro? La respuesta es sí, el colágeno tipo II representa una oportunidad para enfocar la medicina hacia la reparación, no solo el manejo de síntomas.

Rol del colágeno en medicina regenerativa

La medicina regenerativa busca reparar, reemplazar o regenerar tejidos y órganos dañados, y en este contexto el colágeno tipo II desempeña un papel fundamental. Esta proteína es altamente biocompatible, lo que significa que el cuerpo no la rechaza, y además favorece el crecimiento celular y estimula la síntesis natural de colágeno. Su acción contribuye a reducir la inflamación y el dolor articular, promoviendo la regeneración del cartílago, al mismo tiempo que interviene en la reparación de la piel y otros tejidos cutáneos.

En la actualidad el colágeno tipo II es llamado como el “Andamio biológico” que muchos laboratorios utilizan para desarrollar cápsulas, piel artificial, injertos óseos o terapias naturales, a base de pieles y huesos de animales como, el bovino, el porcino y la tilapia.

Hoy en día, los beneficios del colágeno tipo II se han documentado ampliamente, demostrando su capacidad para combatir diversos problemas de salud y ofrecer resultados prometedores en múltiples áreas. Se ha comprobado su eficacia en la reducción del desgaste del cartílago en casos de osteoartritis y artritis reumatoide, así como en la recuperación de lesiones articulares y deportivas que afectan cartílago y tendones. También ha mostrado utilidad deportiva que afectan cartílago y

tendones. También ha mostrado utilidad en el tratamiento de enfermedades de la piel, como quemaduras, úlceras y cicatrices, favoreciendo la regeneración de la dermis, y en enfermedades degenerativas caracterizadas por la pérdida de estructura ósea o muscular. En la actualidad, el colágeno regenerador se combina con tecnologías de vanguardia como la nanotecnología, que mejora su absorción; las células madre, que permiten crear estructuras tridimensionales para la regeneración de órganos; y la biotecnología médica, aplicada en el desarrollo de prótesis y piel artificial.

El colágeno regenerador no es solo una proteína estética, es una herramienta médica de futuro ya que nos enseña que la regeneración es posible y que la ciencia está cada vez más cerca de ayudar al cuerpo a sanarse a sí mismo.

¿Qué es el colágeno sintético? El colágeno sintético es creado en laboratorio mediante biotecnología. Los científicos disdiseñan moléculas que imitan la estructura del colágeno natural, o producen colágeno “artificial” usando bacterias, levaduras o plantas modificadas genéticamente. Sus principales características son que no proviene de animales, se fabrica con ingeniería genética o química, se usa en medicina regenerativa avanzada, como en piel

artificial, injertos, lentes de contacto o suturas biodegradables. Por otro lado, estudios indican que a veces no se integra bien en el cuerpo como el colágeno natural.

Caso de éxito del uso de colágeno tipo II en Osteoartritis

La osteoartritis o mejor conocida como artrosis, es una enfermedad que con mayor frecuencia afecta las articulaciones y huesos de la población mayor a 40 años. La rigidez, el dolor y la falta de movimiento suelen aumentar tras el tiempo y el uso de las articulaciones, haciendo que el paciente prefiera mantenerse en reposo. Esto puede ser uno de los principales motivos por los cuales el colágeno del cuerpo se ve disminuido. En un estudio realizado por el hospital de San Roque y CEPROCOR, en Córdoba Argentina, demostró que el uso del colágeno tipo II no hidrolizado hace grandes aportaciones a la clínica del dolor en los pacientes con este padecimiento.

Se suministraron 600 Ug de colágeno tipo II bovino en un suplemento inmuno modulador, con una dosis de 500 microgramos 30 minutos antes de cualquier ingesta, durante 3 meses a un total de 37 pacientes (34 mujeres, 3 hombres) con tratamientos AINEs y corticoesteroides, propios de la enfermedad, para determinar si

después de utilizar el suplemento alimenticio con fuente de colágeno no hidrolizado; “Covadenil” ¿Hubo una mejoría en la clínica del dolor? ¿Es el colágeno una opción para mejorar la calidad de vida de los pacientes?

Las mejoras del dolor se comprobaron en dicho ensayo, donde se encontró que los padecimientos de artrosis se presentan compor miembro y con un alto porcentaje de dolor, mismo que se ve mejorado con un suplemento alimentario de alto valor como el colágeno no hidrogenado tipo II.

Conclusión

El avance en la comprensión del colágeno tipo II y su efecto antiinflamatorio abre nuevas posibilidades para el manejo integral de las enfermedades articulares. Su uso se enmarca en estrategias de medicina preventiva que buscan reducir el daño y preservar la funcionalidad articular antes de que aparezcan síntomas severos o daños irreversibles.

El colágeno continúa siendo objeto de interés en la investigación médica, con expectativas de ampliar sus aplicaciones y optimizar su formulación para maximizar beneficios. La integración de este suplemento en protocolos clínicos y hábitos saludables puede marcar una diferencia significativa en la prevención y manejo de enfermedades inflamatorias articulares.

En definitiva, entender el colágeno tipo II

como un aliado en la regulación inmunológica y en la protección articular es fundamental para aprovechar todo su potencial. Incorporarlo de forma adecuada y consciente puede transformar la forma en que abordamos la inflamación y el desgaste articular en la sociedad actual.

Lecturas recomendadas

- Bello, A. E., & Oesser, S. (2006) Collagen hydrolysate for the treatment of osteoarthritis and other joint disorders: a review of the literature. *Current Medical Research and Opinion*, 22(11), 2221–2232.
- Del Pilar Quezada Castro, M., & Castillo, C.A.D (2020) Método de casos para promover el pensamiento crítico de estudiantes de derecho en entornos virtuales de aprendizaje. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(102), 4-10. <https://doi.org/10.47460/uct.v24i102.336>
- Ferrario, C., Rusconi, F., Pulaj, A., Macchi, R., Landini, P., Paroni, M., Colombo, G., Martinello, T., Melotti, L., Gomiero, C., Carnevali, M. D. C., Bonasoro, F., Patruno, M., & Sugni, M. (2020) From Food Waste to Innovative Biomaterial: Sea Urchin-Derived Collagen for Applications in Skin Regenerative Medicine. *Marine Drugs*, 18(8), 414. <https://doi.org/10.3390/md18080414>
- NDL, T (2024) Collagen type 2, your ally for strong, healthy joints. *NDL Pro Health*. <https://ndlprohealth.com/es-mx/blogs/consejos/que-es-colageno-tipo-2->
- Zvackova, I., Matalova, E., & Lesot, H. (2017) Regulators of Collagen Fibrillogenesis during Molar Development in the Mouse. *Frontiers In Physiology* 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00554>.

CAPÍTULO 10.

CARNE DE COCODRILO: EL “SUPERALIMENTO” EXÓTICO QUE IMPULSA NUEVOS MERCADOS

Carlos Osiel, Yeo Nava¹, Clara Isabel, Aguilar López¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

El cocodrilo *moreletii* es una especie originaria de México, estos ejemplares son de un tamaño promedio de tres metros y un peso de 200 kg. En México, su conservación y aprovechamiento se realiza mediante Unidades de Manejo Ambiental (UMA) como lo es la granja el Colibrí ubicada en Veracruz, esta unidad está registrada ante SEMARNAT, alberga alrededor de 13,000 ejemplares y permite el uso sustentable del 10% de su población. El aprovechamiento de este ejemplar es del 90% obteniendo carne, pieles, huesos y aceite, impulsando el desarrollo económico local y el turismo ecológico. La carne de cocodrilo *moreletii*, también es conocido como cocodrilo de pantano, se ha vuelto una opción alimenticia saludable y sostenible. Se considera un producto exótico destacando por su alto contenido proteico y bajo contenido en grasa, además de tener Omega 3 el cual beneficia al corazón. Por otro lado, la piel de cocodrilo es altamente valorada en la industria de la moda para la fabricación de artículos de lujo, también se produce un aceite con propiedades medicinales, agregando un valor significativo al aprovechamiento integral del animal. La carne de cocodrilo *moreletii* no solo es un alimento con un alto valor nutricional y bajo impacto ambiental, sino también se puede considerar una nueva oportunidad para impulsar nuevos mercados gastronómicos y productos sustentables, combinando sabor, salud y conservación de la biodiversidad.

Palabras clave. Carne exótica, subproductos, exportación, desarrollo.

Introducción

Ante la creciente necesidad en los últimos años de consumir alimentos con un alto contenido proteico, energético y bajo contenido calórico con un costo accesible, se ofrece el consumo de la carne “exótica” como la del cocodrilo *moreletii* por ser muy rica en omega 3, beneficiando al corazón, venas y arterias, permitiendo cumplir con las características anteriormente ya mencionadas. Además, que de esta especie no solo se obtiene su productor cárnico, sino un aprovechamiento total de una variedad de subproductos que igual son benéficos para el humano e inclusive un amplio recurso para las industrias nacionales e internacionales. Con base al análisis del consumo y la aceptación por su gran valor nutrimental se presenta la oportunidad para diversificar la dieta humana.

Características de cocodrilo *moreletti*

Los inicios del cocodrilo *moreletii* se dan en el año de 1850 en la historia científica moderna por el malacólogo francés P.M.A Morelet (1809-1892) el cual recolectó dos ejemplares en Las Flores, Petén, Guatemala. Su distribución se da en la costa del golfo de México, desde Tamaulipas, hasta la península de Yucatán. También se pueden encontrar en Belice y en el norte de Guatemala.

La taxonomía del cocodrilo *Moreletii*

indica que pertenece al reino Animalia, clase Reptilia, orden Crocodylia, familia Crocodylidae, subfamilia Crocodylinae y género *Crocodylus*, siendo su especie *moreletii*. En 2025 (Lamar University) menciona que los cocodrilos *Moreletii* son carnívoros depredadores, alimentándose de pequeños vertebrados e invertebrados acuáticos. Dentro de sus características morfológicas, se describen datos de ejemplares de aproximadamente 3 metros, su peso puede ser aproximado a los 200 kg. Las hembras se caracterizan por ser más pequeñas, con un 70 % de diferencia en tamaño a la del macho. La coloración de esta especie varía, ya que se pueden encontrar ejemplares desde un amarillo pálido hasta el negro.

Animal Diversity Web (ADW) menciona que el cráneo tiende a ser robusto, ancho y largo; su hocico es relativamente corto y redondeado en la punta. Su cuarto diente mandibular suele estar expuesto a los lados de la maxila, y se estima que su dentadura cuenta con aproximadamente 66 a 68 órganos dentarios. Los ojos están situados detrás del hocico y las orejas detrás de los ojos. Sus receptores sensoriales se ubican en la parte superior de la cabeza, lo que le permite permanecer sumergido y conservar la capacidad de oír, ver y oler. Tiene ojos de color marrón plateado y cuenta con párpados con membranas nictitantes, lo que permite la visión bajo el agua.

Esta especie carece de placas óseas bajo

la piel, posee patas robustas con garras palmeadas y una cola larga que le permite nadar con gran fuerza. Según los datos registrados, la longevidad de estos ejemplares en cautiverio es de aproximadamente 49 años. Además, se ha predicho, mediante modelos matemáticos de crecimiento, que la especie puede llegar a vivir hasta 76 años.

UMA “El colibrí”

La granja de cocodrilos “El colibrí” se encuentra ubicada en la Antigua, Veracruz, con un horario de 10 a 17 horas, brindando un servicio todos los días de la semana. Fue creada en 1981 de manera privada, obteniendo su registró en 1999 ante SEMARNAT para poder criarlos en cautiverio, siendo registrada como una Unidad de Manejo Ambiental (UMA) con la finalidad principal de reproducción para la conservación de los ejemplares de cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), esta UMA cuenta con aproximadamente 20 hectáreas, distribuidas en áreas verdes, zona de crecimiento y rastro. Cuenta con aproximadamente 25 estanques y una laguna artificial utilizada para la reproducción (Figura 1).

Actualmente cuenta con cerca de 13,500 ejemplares los cuales tienen una edad que va de 1 a 5 años a excepción de dos individuos que tienen 20 y 90 años. De la población mencionada, SEMARNAT solo

permite el aprovechamiento del 10%. Su alimentación se realiza una vez por semana, su dieta se basa en el consumo de pollo y la cantidad depende de los ejemplares que se encuentre en cada estanque.

El almacenamiento y conservación de la carne se realiza por congelación, a una temperatura de -18°C pudiéndose almacenar hasta un año sin perder su jugosidad o en refrigeración a 4°C en un periodo de 7 días.

Dentro de este establecimiento podremos encontrar una variedad de productos para el público en general, es importante mencionar que el aprovechamiento del cocodrilo *moreletii* es de aproximadamente un 90%. Sus pieles, tras haber pasado por un proceso de curtido en Guanajuato, se pueden elaborar diversos productos como carteras, cinturones, calzado, gorras entre otras prendas de vestir, de sus huesos se pueden realizar taxidermia e inclusive se pueden llegar a la producción de un aceite con múltiples beneficios para la salud.

El aceite de cocodrilo es considerado un suplemento alimenticio utilizado normalmente para tratar problemas respiratorios como asma enfisema gripe y tos a continuación se describen cada uno de los precios al público (Tabla 1). Los productos descritos son vendidos en el establecimiento ayudando al sustento de la UMA.



Figura 1. Datos curiosos del cocodrilo moreletii. Fuente: Propia.

Tabla 1. Precio de productos y subproductos obtenibles de cocodrilo.

Producto	Precio
Carne	Costilla kg: \$ 330.00 Nuggets kg: \$ 350.00 Filete kg: \$ 350.00
Pieles	\$1700.00 1.5 metros \$3000.00 2-2.5 metros
Cráneos	Chicos: \$1200.00 Medianos: \$1700.00 Grandes: \$30,000.00
Carteras	\$800.00 - \$1000.00 dependiendo color
Aceite	110 ml \$600.00

Como ya lo hemos mencionado anteriormente la carne de cocodrilos es una muy buena fuente de nutrientes para el ser humano, la manera de consumirla tiende a ser muy versátil, puesto que su preparación no

presenta algún grado de complejidad, se puede preparar por sí sola o ir acompañada de diferentes guarniciones, un claro ejemplo son los platillos que se describen en la tabla 2, la UMA el Colibrí ofrece platillos para ser consumidos dentro de su restaurante y así poder vivir una experiencia completa en el entorno al habitat de los cocodrilos y los sabores de su carne.

Producción de carne cocodrilo

El aprovechamiento del cocodrilo es casi total, pues de su carne, huesos, escamas y órganos internos se pueden obtener aminoácidos, los cuales ayudan a la producción de proteínas de una calidad elevada que sirven para la función vital del ser humano.

Así mismo, contiene ácidos grasos no saturados los cuales facilitan a la

Tabla 2. Precio de platillos en el restaurante el colibrí.

Platillo	Costo
Hamburguesa de cocodrilo	\$11,000
Brocheta de cocodrilo	\$6,000
Costilla de cocodrilo	\$18,000
Empanda de cocodrilo	\$5,000
Chile relleno de queso de hebra envuelto en carne de cocodrilo	\$17,000
Quesadilla de cocodrilo	\$8,000
Taco de cocodrilo	\$4,000
Filete de cocodrilo empanizado	\$18,000

Fuente: Propia

producción de energía, favorece la absorción de nutrientes y ayuda a la formación de nuevas membranas celulares, vitaminas y una alta variedad de elementos esenciales que el cuerpo

Tabla 3. Precios de la carne en cocodrilo a nivel nacional e internacional

Establecimiento	Precio al público
UMA El colibrí	Costilla \$330.00 kg Filete: 350.00 kg
El gran cazador	Filete 200 gr: \$130.00 Filete 500 gr: \$325.00
Asados exóticos "Lugo"	Canal con piel \$2800 kg Pulpa, filete y cola \$2500 kg
BBC	US\$37.00 kg

humano requiere, siendo entre su valor nutrimental el alto contenido de omega 3 y bajo contenido de grasa y colesterol.

Tabla 4. Tabla nutricional de la carne de cocodrilo

Cada 100 g contiene	Manejo convencional
Proteínas %	2,511
Grasa %	607
Carbohidratos %	809
Colesterol	132
Humedad %	6,390
Cenizas	227
Minerales	75

Fuente: Universidad de las Américas Puebla (2025).

La carne de cocodrilo se caracteriza por ser baja en contenido calórico y graso, por eso es considerada una opción más saludable en comparación con otras carnes. Con aproximadamente 436 calorías por cada 100 gramos, se vuelve una alternativa para las personas que buscan mantener un peso saludable o en su defecto disminuir su ingesta calórica sin afectar el consumo de proteínas, en comparación a la carne de cerdo o res, las cuales presentan un contenido graso y calórico considerablemente más elevado que pueden favorecer a el aumento de peso y elevar los niveles de colesterol en caso de consumir en exceso.

En la tabla 5 se hace una comparación del contenido calórico entre la carne de cocodrilo y las carnes de consumo humano habitual.

Tabla 5. Contenido calórico de las carnes

Tipo de carne	Contenido calórico
Cocodrilo	436 cal por 100 g
Pollo	710 cal por 100 g
Vacuno	692 cal por 100 g
Puerco	1174 cal por 100 g

Fuente: Universidad de las Américas Puebla (2025).

Granjas de producción intensiva y extensiva de cocodrilo

Existen diversas UMAS con diferentes funciones, existen las intensivas, extensivas, mixtas y con fines de investigación. En la tabla 6 se describen cómo es el desarrollo de estos ejemplares dentro de una UMA intensiva y extensiva.

Las UMAS intensivas se enfocan en la cría en cautiverio para el aprovechamiento de la piel, carne y subproductos, las UMAS extensivas tienden a ofrecer ecoturismo realizando actividades como recorridos en lanchas, para poder observar los cocodrilos en su hábitat.

Exportación de la piel de cocodrilo *moreletii*

Para poder realizar la exportación es importante conocer que existen diversas normatividades que regulan estos procesos, uno de ellos es el CITE (Convención Sobre el Comercio Internacional del Comercio de Especies Amenazadas y Fauna Silvestre), puesto que menciona que todo tipo de importación, exportación, reexportación o introducción de especies amparadas debe de realizarse con autorización de licencias. Existen tres apéndices las cuales se encargan de la protección de las especies dependiendo de cómo la necesiten. En el apéndice I se engloban a las especies en peligro de extinción, el apéndice II agrupa a las especies que no se encuentran en peligro de extinción, pero su comercio debe de estar regulado con la finalidad de evitar una utilización que comprometa la supervivencia de dichas especies, dentro del apéndice III se incluyen a las especies que están protegidas, dentro de un país.

Por otro parte se cuenta con la SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria) el cual se encarga de seguir mejorando de forma continua las plataformas técnico-científicas, legal y administrativas para facilitar el abasto nacional y comercio agroalimentario.

Tabla 6. Comparativa de crecimiento de cocodrilo moreletii intensivo y extensivo

Características	Sistema intensivo	Sistema extensivo
Control ambiental	Alto (Temperatura, luz, calidad del agua controladas)	Bajo (Dependiente de las condiciones naturales del hábitat)
Alimentación	Dieta controlada, frecuente rica en proteínas para optimizar su crecimiento	Dieta natural disponibilidad variable del alimento
Densidad poblacional	Alta, posee mayor número de individuos por área	Baja, es similar a las condiciones naturales
Tasa de crecimiento	Es rápida, su crecimiento es acelerado y constante	Es lenta e irregular, tiende a estar influenciada por el clima y el alimento
Tiempo para talla comercial	Menor normalmente abarca de 2-3 años para el tamaño de piel	Mayor, puede tardar de 5 años hasta más
Peso promedio (Edad)	Presentan mayor peso para una edad determinada	Presentan menor peso para una edad determinada
Mortalidad	Puede ser mayor si el manejo de la especie no es el adecuado	Es menor, está sujeto a la depredación natural y enfermedades
Tiempo de engorda	Presentan un menor tiempo para alcanzar peso y talla comercial	Mayor tiempo, el crecimiento es gradual y estacional
Proteína (carne)	La composición nutricional es controlada mediante dietas específicas	La composición nutricional puede variar según la dieta natural y estacional
Densidad de población	Se cuenta con alta densidad de ejemplares por unidad de área (estanques o corrales)	Se cuenta con baja densidad y se cuenta con mayor espacio disponible para los ejemplares
Insumos y tecnología	Cuenta con infraestructura , alimento balanceado y presentan índices productivos	Cuenta con más recursos naturales y la interacción humana es menor

Fuente: Biólogo Ermilo Alcalá Responsable técnico de la SEMARNAT

Mediante el Certificado de Zoosanitario de Exportación (CZE) SENASICA-01-038 el cual se va a encargar el origen y libre

venta para la exportación de productos para uso o consumo animal garantizando que los productos cumplen con las

reglas sanitarias adecuadas. Dentro de la exportación de piel de cocodrilo y otras pieles se encuentra la marca de tienda y moda “Cuadra” fundada en 1991 en León, Guanajuato por los hermanos Cuadra, la cual ofrece artículos diversos de una alta calidad, expandiéndose de forma nacional e internacional (Figura 2).

Conclusión

El cocodrilo *Moreletii* se destaca como una especie de gran utilidad para el ser humano, no solo por el alto valor nutricional de su carne, sino también por la calidad de sus subproductos. Estos aportan diversidad al mercado y permiten obtener proteínas de manera accesible, lo que refuerza su importancia económica y alimentaria.

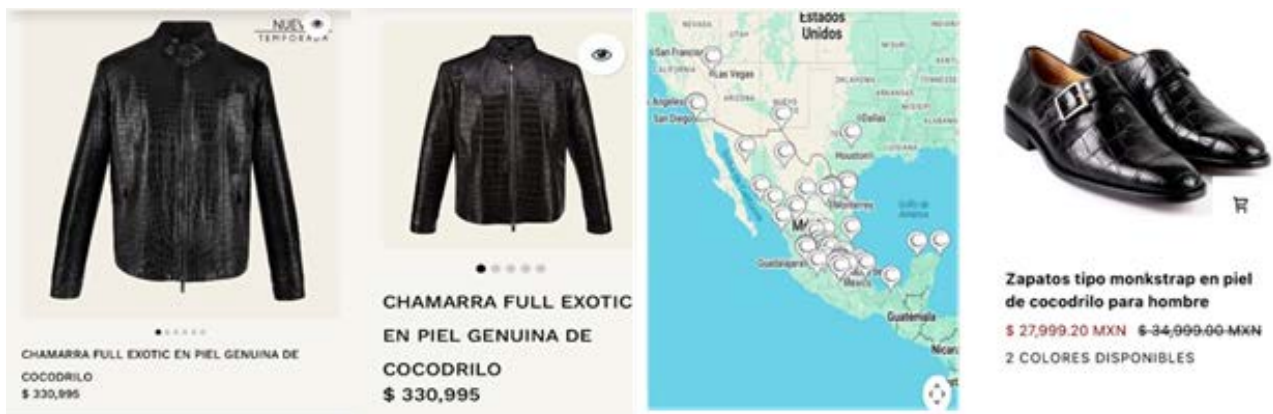


Figura 2. Artículos vendidos en tiendas Cuadra. Fuente: Cuadra, 2025.

Lecturas recomendadas

- ¡NaturalistMx. (2025) Cocodrilo de pantano (cocodrilo morelettimoreletii). Disponible en: [Cocodrilo de pantano \(Crocodylus moreletii\) · iNaturalist Mexico](#)
- ADW. (2025) Crocodylus moreletii. Disponible en: [Crocodylus moreletii \(Morelet's Crocodile\) | INFORMATION | Animal Diversity Web](#)
- Cuadra. (2025). Tiendas Cuadra. Disponible en: [Tiendas Cuadra – Cuadra México](#)
- LAMAR UNIVERSITY. (2025). Cocodrilo Moreleti. Disponible en: [Morelet's Crocodile - Lamar University](#)
- Quintana, A. (2006). Evaluación sensorial de la carne de cocodrilo moreletti. Disponible en: [Quintana Ayala, Alexandra](#)
- SENASICA. (20225). SENASICA: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Disponible en: <https://gobmx.mx/senasica/>
- Sigler, L. & Gallegos, J. (2017). El conocimiento sobre El cocodrilo de morelet crocodylus moreletii (Duméril y Duméril 1851) en México, Belice y Guatemala. Disponible en: [Cocodrilo Morelet Bajav1.pdf](#)
- Tercero, A. (2011). Evaluación de la calidad de la carne de cocodrilo (Crocodylus morelettimoreletii) y sus cambios fisicoquímicos y microbiológicos durante el almacenamiento en refrigeración. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/server/api/core/bitstreams/438e4bb5-1984-45cd-ad37-08fdde8ff3da/content>.
- Universidad de las Américas Puebla. (2025). Cocodrilo moreletii. Disponible en: <https://catarina.udlap.mx/xmLibris/projects/etd/browse/searchRecord.jsp>

CAPÍTULO 11.

REBUZNOS DE TRISTEZA: EL VALOR Y PROBLEMAS DEL BURRO EN MÉXICO

Herrera Orbezo, Mercedes¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuário, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

Este capítulo analiza el valor histórico, cultural y económico del burro en México, así como los problemas que enfrenta en la actualidad. Se describe como este animal, tradicionalmente asociado a la ruralidad y a expresiones de desprecio, ha sido fundamental como medio de transporte y carga, pero su población ha disminuido drásticamente debido a la urbanización, la mecanización agrícola y el abandono. El texto expone las condiciones precarias en que suelen vivir los burros, afectados por mala alimentación, cruza entre parientes cercanos y violencia, además de la explotación de híbridos como mulas y burdéganos. Se destacan sus ventajas frente a otras especies: gran capacidad de adaptación, resistencia digestiva, temperamento tranquilo y longevidad de hasta 40 años. Sin embargo, la falta de regulación en mercados ambulantes y la ausencia de atención veterinaria generan problemas de bienestar animal. El capítulo también aborda los vacíos legales en México, señalando la iniciativa de Ley General de Bienestar Animal de 2016 que aún no ha sido aprobada, y analiza las leyes estatales de Veracruz en materia de protección animal, ganadería y vida silvestre. Se enfatiza la necesidad de aplicar estas normativas para garantizar alimentación, cuidado, alojamiento y trato digno, así como evitar el comercio ilegal y la crueldad. Aunque existen esfuerzos de supervisión por parte de autoridades y asociaciones, los casos de maltrato y abandono persisten. La conclusión subraya que, pese a la existencia de leyes y programas, la protección del burro sigue siendo insuficiente, por lo que urge implementar medidas más efectivas que reconozcan su importancia como recurso biológico y como protagonista del desarrollo rural sostenible.

Palabras clave. Burro en México, Bienestar animal, Protección legal, Desarrollo rural, Aprovechamiento sostenible.

Introducción

Coloquialmente nos expresamos con cierto desprecio al referirnos a los burros, como que son individuos tontos o torpes, escuchamos frases como “no seas burro” o, porque no, el afamado castigo escolar de ponerle orejas de burro al alumno que obtuviera calificación más baja.

La palabra “burro” tiene su origen en el latín “burricus” que significa “caballo pequeño”. Habitualmente observamos en localidades o congregaciones pequeñas que en los patios de las casas, se encuentran burros amarrados, pastoreando bajo las inclemencias del clima, sin tratamientos médicos preventivos, cuidados e higiene correctos. ¡Vaya! Los dueños sólo procuran que el animal tenga alimento y tenga fuerza para el trabajo, que consiste básicamente en cargar y servir como medio de transporte. Un medio de transporte que, por cierto, está siendo sustituido.

El burro, que deambulaba de manera cotidiana afuera de las casas o mercados locales mexicanos, con unos costales acuestas, ya sea de madera o tierra de encino, hoy en día está siendo reemplazado por máquinas que no comen, no se cansan y no requieren atención veterinaria. En México, este simbólico animal, es reconocido como uno de los mamíferos mexicanos en peligro de extinción, debido a la

urbanización, cambios en prácticas de transporte y carga, siendo sustituido paulatinamente por las máquinas agrícolas.

Derivado de todo lo anterior, poco se ha hecho para mantener a este equino. Muchos de los estragos de violencia, la cual, hoy en día, se canaliza en múltiples sectores y esferas de la sociedad, entre negligencia, abandono, descuido reiterado, marginación, daño con fuerza físico, hasta tortura, todo esto con relación a la violencia contra los animales y ningún ser vivo merece ser tratado con crueldad ni dolo. La mala alimentación, ya sea por bajo nivel nutricional y baja economía, pérdida de poblaciones silvestres, aislamiento geográfico, cruza entre parientes cercanos y abusos en todos los sentidos, los burros presentan actualmente defectos de conformación, principalmente en las extremidades. Además, la cría y explotación de los híbridos (mulas y burdéganos) han tenido también un impacto similar o de mayor transcendencia.

Fuerza y problemas del burro en México

El burro debe ser revalorizado, pues tiene ventajas con respecto a otras especies, de sus más destacadas son la gran capacidad de adaptación a nivel local como regional, es apto para cargar

hasta 50 kg, su dieta es más económica respecto a los caballos, pues su aparato digestivo es más resistente. Tiene un temperamento tranquilo, permitiendo un comportamiento socialmente amplio. Su promedio de vida oscila entre los 30 y 40 años.

Hasta el año 2017, México ocupó el cuarto lugar en población de burros y en caso de las mulas, tenía el primer lugar. En nuestro país, existe un gran número de conflictos relacionados con el trato a los animales, mismos que varían en sus causas, naturaleza y gravedad de acuerdo con la gran diversidad de especies domésticas y no domésticas, y al uso de estos. Por tanto, es común que se desarrollen actitudes negativas hacia ellos. Una problemática grave que se da es la actividad comercial de animales, ya que la misma no cuenta con suficientes mecanismos jurídicos que regulen el respeto al bienestar de los animales susceptibles de dichas actividades, y por lo general, los establecimientos o granjas locales no cuentan con las medidas de seguridad necesarias, ni la atención por parte de un médico veterinario. Mencionado lo anterior, una práctica cotidiana es la venta de animales en mercados ambulantes o en la vía pública, que además de ser ilegal, no se cuenta con mecanismos de control y garantía de protección de sus necesidades más básicas como lo son

la alimentación, el cuidado y alojamiento, lo que provoca estrés y transmisión de enfermedades infecciosas por falta de higiene. Señalando a los animales de trabajo (carga, monta y tiro), así como los de terapia, asistencia, guardia y protección, es también común que, durante la ejecución de sus actividades, los animales no disfruten totalmente del bienestar debido.

Vacíos y oscuridad en las leyes mexicanas

En el 2016, en el Palacio Legislativo de San Lázaro, el diputado Arturo Álvarez Angli, a través de El Grupo Parlamentario del Partido Verde Ecologista de México, propuso la iniciativa de Ley General de Bienestar Animal. Sin embargo, hasta el día de hoy, no ha logrado ser desarrollada ni aprobada. Con el fin de incluir el cuidado de los animales en la constitución, la Comisión de Puntos Constitucionales, aprobó en lo general y en lo particular el dictamen que modifica los artículos 3, 4 y 73 de la Constitución Política, donde se establece la protección, trato adecuado, conservación y cuidado de estos seres.

Estas disposiciones federales se han convertido en respaldo y sustento de leyes y acuerdos estatales, que buscan la protección y bienestar de los animales, la procuración de las especies y evitar la violencia contra éstos. En el estado libre y soberano de Veracruz se

cuenta con la Ley de Protección a los Animales, Ley Ganadera, Ley de Vida Silvestre, entre otras y claro, el Código Penal y Código Civil de Veracruz.

Ahora, una de las incógnitas que surgen con estos planteamientos, es la relación de las leyes veracruzanas contra el maltrato de los burros, un animal tan útil, ¿qué se hace en el estado de Veracruz en favor del bienestar de los burros?

Al norte del estado, en municipios como Ozuluama y Pánuco, los departamentos correspondientes de la Secretaría del Medio ambiente supervisan que los burros no sean explotados, pues se trata de una fuente de trabajo y transporte. En conjunto con Protección Civil Municipal, se exhorta a la población a mantener una correcta alimentación e hidratación, tratamientos veterinarios y mantener buenas prácticas de cuidado, evitando que deambulen sueltos por las calles o se expongan a vías carreteras poniendo en riesgo su integridad.

Aunque la mecanización del campo ha reducido el uso de animales de carga, en muchas zonas de Veracruz su participación sigue siendo fundamental. Las condiciones del terreno, la falta de acceso a tecnología y el costo del mantenimiento de maquinaria hacen que, para muchas familias, un burro siga siendo su principal herramienta de trabajo.

De acuerdo con la Ley de Protección a los Animales, es competencia de la sociedad y residentes del estado:

“Proteger a los animales, garantizar su bienestar, brindarles atención, asistencia, auxilio, buen trato, velar por su desarrollo natural, salud y evitarles el maltrato, la crueldad y el sufrimiento.”

H. Congreso del Estado de Veracruz, Ley de Protección a los Animales para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Capítulo I

Mientras que, entre las condiciones de competencia de las autoridades estatales y municipales, las principales, son destinar presupuesto necesario a las instancias públicas, celebrar convenios y crear instrumentos económicos, promoción de información y difusión, desarrollo de programas, regulación para el manejo, control y remediación de problemas asociados a los animales, entre otros. “Las autoridades del Estado deben auxiliar a las federales en la aplicación de las medidas necesarias para la regulación del comercio de animales silvestres, sus productos o subproductos, así como para evitar la posesión y exhibición ilegal de éstos, mediante la celebración de convenios o acuerdos de coordinación, conforme a la ley en la materia”.

“Los particulares, las asociaciones protectoras de animales legalmente constituidas y los profesionales de la medicina veterinaria y zootecnia

capacitados, titulados y con cédula profesional podrán colaborar en los programas correspondientes, para alcanzar los fines que persigue esta Ley”

H. Congreso del Estado de Veracruz, Ley de
Protección a los Animales
para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave,
Capítulo I

El trato digno y respetuoso a los animales es fundamental, torturar o maltratar a un animal por crueldad, maldad, egoísmo o negligencia grave son causas justificadas que podrían incluir consecuencias como la pérdida de la libertad o una sentencia grave sin derecho a fianza. Cabe mencionar que esterilizar a los animales de compañía no es considerado como injuria hacia éstos, sino todo lo contrario, es un acto de amor para evitar la explotación y el abuso en la reproducción para comercializar crías. Otra prohibición a considerar es evitar el traslado de animales justo a sustancias tóxicas en el mismo vehículo, ni sobrecargar los autotransportes de traslado con animales.

“El fomento, organización, mejoramiento, desarrollo, productividad, aprovechamiento, industrialización, comercialización, sanidad y protección de la ganadería en el Estado; las formas y procedimientos para adquirir, transmitir, acreditar y proteger la propiedad del ganado; y la movilización del ganado, productos y subproductos pecuarios en territorio del Estado.”

H. Congreso del Estado de Veracruz, Ley de
Protección a los Animales
para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave,
Capítulo I

Dicho esto, es importante puntualizar que se entienden por actividad ganadera a toda acción orientada a la producción racional de carne, leche, huevo, miel, piel, lana y otras de interés zootécnico, con la finalidad de satisfacer necesidades vitales o del desarrollo humano.

El titular del Ejecutivo, en este caso, el/la gobernador/a del Estado tiene como competencia en su área el coordinar y convenir normas de fomento y control legal, dictar disposiciones, establecer programas, celebrar convenios o acuerdos, promover la difusión e investigación pecuaria, promover y proteger la población, impulsar el aprovechamiento sostenible, procurar una mejor distribución de productos, procurar la transformación e industrialización de productos, vigilar el cumplimiento de disposiciones, aplicar medidas y acciones de mejora y determinar el destino del ganado y sus productos.

La Ley Ganadera fue promulgada en 1979 y actualizada en 2023, se enfoca en el tratamiento de especies bovino, caballar, mular, asnal, ovino, caprino, porcino, aves de cualesquiera de sus especies, conejos y animales de peletería. Por tanto, cuando nos referimos a los burros, podemos aplicar ambas leyes para su protección, resguardo y manutención.

“El objetivo de la política estatal en materia de vida silvestre y de su hábitat en su conservación, mediante la protección y la exigencia de niveles óptimos de aprovechamiento sustentable, de modo que simultáneamente se logre mantener y promover la restauración de su diversidad e integridad, así como incrementar el bienestar de los habitantes del Estado”.

H. Congreso del Estado de Veracruz, Ley de Protección a los Animales para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Capítulo I

El burro, al ser una animal que pastorea, debe estar rodeado de un medio ambiente favorable, protegido y que tenga manejo integral de los hábitats naturales, así como su conservación (Figura 1). En un caso hipotético, en el que en temporada de calor, con el pasto seco, pudiera ocurrir un accidente y se formara un incendio, el burro estuviera ahí, no sólo existiría muerte del habitat sino también de especies animales, en este caso, el burro.

Las atribuciones del ejecutivo del estado incluyen las mismas ya comentadas en las leyes previas. Sin embargo, se agrega en esta que se pueden otorgar, suspender, modificar y revocar autorizaciones, certificaciones, registros y demás actos administrativos relacionados al aprovechamiento y liberación de ejemplares de especies y poblaciones silvestres.

Conclusión

Veracruz es un estado con gran diversidad de ecosistemas, inclusive,

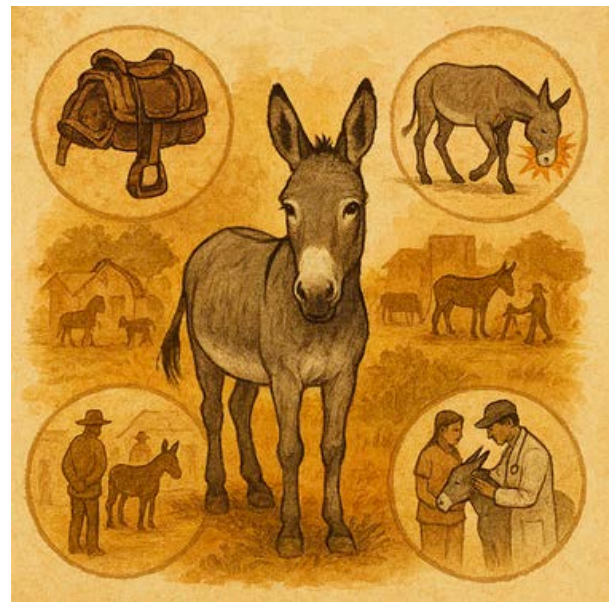


Figura 1. Representación simbólica del burro en México como eje de la vida rural, víctima de abandono y maltrato, pero también sujeto de protección legal y ambiental.

existen especies endémicas que son salvaguardadas con leyes y normativas, en conjunto con órdenes del gobierno como Protección Civil y la Secretaría del Medio Ambiente, asociaciones privadas que buscan preservar, proteger y mantener en condiciones óptimas. Los burros, entendemos que han sido domesticados para labores, pero se sabe que también existen grupos que han escapado y se han convertido en salvajes, que no permiten su monta.

Finalmente, es importante reconocer, que aunque existen iniciativas de ley general de bienestar animal, con múltiples propuestas de control, manejo y regulación de acciones para que los animales tengan una vida digna sin maltrato, la creación de instancias públicas que favorezca esto, hoy en día no han sido probadas ni instaladas, la

sociedad y cuerpos gubernamentales trabajan en conjunto para fortalecer y supervisar un medio ambiente apto para los animales, pero no ha sido suficiente, continúan exponiéndose casos de mutilación, abandono y crueldad y el burro no ha sido

excepción de estos casos, incluso, llega a tener abuso y sobrecarga que lo lesionan y ocasionar incapacidad. Todo esto es motivo para considerar implementación de leyes que apoyen y fortalezcan las medidas actuales.

Lecturas recomendadas

- Chirgwin, J.C., De Roover, P., Dijkman, J.T. (2010) El Burro como animal de trabajo, Manual de Capacitación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- H. Congreso del Estado de Veracruz (2003) Código Penal para el Estado Libre y Soberano de Veracruz de Ignacio de la Llave, Gaceta Oficial.
- H. Congreso del Estado de Veracruz (2010) Ley de Protección a los Animales para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Gaceta Oficial.
- H. Congreso del Estado de Veracruz (1988) Ley de Salud del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Gaceta Oficial.
- H. Congreso del Estado de Veracruz (2010) Ley de Protección a los Animales para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Gaceta Oficial.
- H. Congreso del Estado de Veracruz (1979) Ley Ganadera para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Gaceta Oficial.
- LXIII Legislatura del H. Congreso de la Unión (2016) Iniciativa con Proyecto de Decreto por el que se expide la Ley General de Bienestar Animal.
- Moehlman, P.D., Kebede, F., Yohannes, H. (2015) "Equus africanus" The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T7949A45170994.
- Pérez, I., (2019) Vida digna para el Burro. Ciencia UNAM-DGDC.

CAPÍTULO 12.

MICROBIOS AL MANDO: LA PURIFICACIÓN PERFECTA DEL AGUA

Espinoza, Italivy¹, Pérez, Adonay¹, Aguilar, Juan Carlos¹, Alvarado, María Teresa¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

En 2022, la OMS (Organización Mundial de la Salud) estimó que “alrededor de 1,700 millones de personas dependían de fuentes de agua con contaminación fecal para consumo humano”, condición que implica un riesgo sustancial de exposición a patógenos de origen entérico. Esta situación constituye una amenaza sanitaria de gran magnitud: Según datos de la ONU, se calculan aproximadamente 505,000 muertes anuales atribuibles a enfermedades diarreicas vinculadas al acceso a agua no segura. En paralelo, cerca de 2,200 millones de individuos carecían ese mismo año de un servicio de abastecimiento de agua potable “gestionado de forma segura”, entendido como aquel que garantiza disponibilidad intradomiciliaria, continuidad y ausencia de contaminantes microbiológicos. En el tratamiento de aguas usadas que tienen mucha materia orgánica, las bacterias trabajan junto con otros microorganismos para descomponer los compuestos que se pueden deshacer naturalmente. Esto ocurre en sistemas como las letrinas y las plantas de tratamiento de aguas. Pero si el objetivo es tener agua limpia para beber, los métodos solo con bacterias no son suficientes. Es necesario usar métodos que eliminen por completo las bacterias y otros microorganismos dañinos, como la adición de cloro, el uso de luz ultravioleta o el calentamiento. Un estudio comparó cómo funciona la cloración y la luz ultravioleta para limpiar agua que tiene bacterias como *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. Los resultados mostraron que ambos métodos lograron eliminar por completo las bacterias en las pruebas. También se miró si las bacterias se volvían a activar después de 48 horas, pero no hubo crecimiento en ninguno de los casos. Al final, se descubrió que mezclar cloro con luz ultravioleta es una buena opción para hacer agua potable. Esto combina la acción del cloro, que mata muchos tipos de bacterias, con la luz UV que inactiva a los microorganismos. Esta combinación mejora la seguridad del agua y ayuda a evitar que se formen sustancias dañinas.

Palabras clave. Tratamiento biológico, bacterias aerobias, bacterias anaerobias, desinfección, aguas residuales, purificación.

Introducción

El acceso al agua potable es un factor esencial para la salud pública y el desarrollo humano. Sin embargo, en muchas regiones del mundo el agua disponible para consumo se encuentra contaminada, el tratamiento de la purificación del agua es un tema crucial y relevante para la salud mundial. La contaminación microbiana del agua es un problema grave con más de 1,700 millones de personas afectadas, por tal razón abordar los diversos métodos de tratamiento es crucial para determinar los más seguros, ya que aproximadamente 505,000 personas han muerto en los últimos 3 años por enfermedades derivadas de la contaminación, según datos de las Naciones Unidas. El tratamiento del agua comprende de una serie de etapas de incluyen procesos biológicos físicos y químicos, los cuales actúan de manera complementaria para eliminar contaminantes y microorganismos (Figura 1). Asimismo, la integración de distintos métodos de tratamiento ha demostrado ser una estrategia más eficaz para mejorar la seguridad microbiológica del agua.

Tratamiento biológico de aguas residuales mediante bacterias

El tratamiento y la purificación del agua son pasos muy importantes para cuidar la salud de las personas y proteger el entorno. La forma en la que se hace



Figura 1. Procesos biológicos y métodos de desinfección aplicados en la purificación del agua para consumo humano.

este proceso depende mucho de si hay oxígeno o no. En lugares donde no hay oxígeno, ciertas bacterias llamadas anaerobias trabajan para descomponer la materia orgánica; lo hacen de manera diferente, usando procesos como la fermentación y la producción de metano. Estas bacterias son las que se usan en fosas sépticas tradicionales, no necesitan aire, requieren poco cuidado y producen un agua más limpia, aunque no siempre muy pura. Por otro lado, cuando hay oxígeno en el agua, las bacterias aerobias son las que actúan, y tienen una forma más eficiente de descomponer la materia orgánica. No producen malos olores ni gases peligrosos, y trabajan más rápido. Los sistemas que usan estas bacterias producen aguas más limpias, pero necesitan más espacio y también más energía eléctrica, así como un mantenimiento más frecuente. Todo esto ayuda a evitar enfermedades como la diarrea, la cólera y la fiebre tifoidea, y

también permite usar mejor el agua, especialmente en lugares donde no hay infraestructura adecuada.

Descomposición bacteriana en sistemas de depuración

La descomposición bacteriana en sistemas de depuración es un proceso natural mediante el cual comunidades microbianas degradan la materia orgánica presente en aguas residuales, transformándola en compuestos menos contaminantes y estabilizando el efluente. Este fenómeno es fundamental en tecnologías de tratamiento como fosas sépticas y PTAR domésticas, ya que permite reducir la carga orgánica, facilitar la sedimentación y contribuir a la eliminación de patógenos, garantizando que el agua tratada sea más segura para su vertido o reutilización.

En los sistemas sépticos, las partículas presentes en el agua residual sedimentan hasta el fondo del tanque, donde se acumulan como lodo mientras la fracción líquida clarificada se descarga hacia el alcantarillado o cuerpos de agua superficiales. En el fondo, las bacterias se encargan de la biodegradación y estabilización del efluente, en un proceso totalmente natural pero susceptible a alteraciones cuando se introducen sustancias tóxicas para el microbiota, como biocidas, productos antibacterianos o el cloro, o cuando existe una sobrecarga de

residuos orgánicos sólidos que exceden la capacidad de degradación del sistema y provocan obstrucciones. En tales casos resulta necesario reforzar la flora bacteriana mediante la adición de microorganismos complementarios. Para ello existen formulaciones comerciales que combinan bacterias y enzimas diseñadas para restaurar la actividad biológica en fosas sépticas o PTAR, considerando siempre si se trata de sistemas aireados o no aireados. No obstante, estos aditivos funcionan como complementos y no reemplazan las prácticas regulares de mantenimiento requeridas para garantizar la estabilidad y eficiencia del proceso depurativo.

Métodos de desinfección para obtención de agua potable

La obtención de agua potable segura requiere de procesos de desinfección capaces de eliminar bacterias, virus y protozoos presentes en los efluentes. Entre los métodos más utilizados se encuentran los tratamientos químicos, físicos y térmicos, complementados con procesos biológicos previos que reducen la carga orgánica. Cada estrategia presenta ventajas y limitaciones particulares, y su elección depende de la calidad del agua inicial, los recursos disponibles y los riesgos sanitarios asociados.

Entre los métodos más comunes se

Tabla 1. Comparación de métodos de desinfección.

Método	Eficiencia contra E. coli y P. aeruginosa	Reactivación a 48h	Subproductos tóxicos	Ventaja principal
Hervido	Alta (>99 %)	No	No	Método Simple y accesible
Cloro	Alta (99-100%)	No	Si	Efecto residual
UV	Muy alta (≈100%)	No	No	No utiliza químicos
Cloro + UV	Muy alta (≈100%)	No	Mínimos	Seguridad microbiológica dual

encuentran el hervido, la cloración y la irradiación con luz ultravioleta (UV). El hervido es un método que usa calor para matar microorganismos, y se recomienda hervir el agua por un tiempo suficiente para que sea efectivo. La cloración ha sido muy útil para reducir enfermedades causadas por agua, pero no siempre funciona bien contra algunos protozoos que son resistentes. Por otro lado, la radiación UV es un método físico que daña el ADN de los microorganismos, lo que les impide reproducirse. Estudios técnicos muestran que tanto la cloración como la radiación UV son muy efectivos para eliminar bacterias que sirven como indicadores, y no se observa un aumento de microorganismos después de 48 horas.

Usar estos dos métodos juntos da un

mayor nivel de protección, combinando un desinfectante químico con una barrera física. La irradiación UV actúa como un método físico que daña el material genético de los microorganismos, impidiéndoles replicarse, aunque su eficacia depende de que el agua presente baja turbidez y ausencia de sedimentos para permitir la penetración lumínica. Finalmente, se concluye que la combinación de cloro y radiación UV ofrece un enfoque sinérgico especialmente robusto: mientras el cloro actúa como un desinfectante químico de amplio espectro, la UV aporta un mecanismo físico libre de generación de subproductos tóxicos, proporcionando así un nivel reforzado de seguridad microbiológica en la obtención de agua potable.

Sistemas integrados de purificación de agua

Los sistemas integrados de purificación de agua son configuraciones de tratamiento que combinan varias etapas de depuración en un solo proceso coordinado, con el objetivo de mejorar simultáneamente la calidad física, química y microbiológica del agua. Estas soluciones aprovechan de manera sinérgica procesos de filtración, adsorción química y desinfección, garantizando que el agua sea segura para el consumo humano y cumpla con los estándares de potabilidad.

Estos sistemas suelen incluir una etapa inicial de filtración física, seguida de una fase de adsorción química utilizando carbón activado, y una desinfección final con cloro o radiación UV. Diversos estudios indican que la combinación de estos métodos aumenta la efectividad del tratamiento y reduce los riesgos para la salud asociados con el consumo de agua insegura.

La eficacia de la cloración frente a la radiación UV ha sido comparada experimentalmente logrando con ambos métodos una inactivación completa (100%) de los microorganismos, sin reactivación tras 48 horas. Los resultados sugieren que la combinación de cloro y UV proporciona un nivel adicional de seguridad: el cloro actúa como desinfectante químico de amplio espectro, mientras que la UV ofrece un respaldo físico sin generación

de subproductos tóxicos. Entre los principales ejemplos de sistemas integrados se encuentran los filtros domésticos multicapa, las estaciones compactas de tratamiento para comunidades rurales y las plantas modulares que combinan arena, carbón activado y radiación UV, adaptándose a diferentes niveles de contaminación y demanda de agua potable.

Conclusión

El acceso a agua potable segura continúa siendo un desafío relevante a nivel mundial, ya que millones de personas dependen de fuentes de agua contaminadas con materia fecal, lo que incrementa el riesgo de enfermedades de origen hídrico. Esta situación resalta la importancia de fortalecer los sistemas de tratamiento y desinfección del agua destinados al consumo humano.

Los autores concluyen que la combinación de cloración y radiación ultravioleta constituye una estrategia particularmente eficaz: el cloro actúa como desinfectante químico de amplio espectro, mientras que la radiación UV proporciona una barrera física adicional sin generar subproductos tóxicos, incrementando así la seguridad del proceso.

Entre los beneficios documentados de

estas intervenciones se incluyen reducciones significativas en la incidencia de enfermedades como el cólera, la difteria y la fiebre tifoidea. Finalmente, la puesta en marcha de sistemas avanzados que incluyen etapas de limpieza, redirección y

desinfección es una buena forma de mejorar el agua potable, hacerla más segura para la salud y evitar enfermedades que se transmiten por el agua usada, especialmente en lugares donde no hay suficiente infraestructura para tratar el agua.

Lecturas recomendadas

- Comisión Nacional del Agua. (2024) Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión Nacional del Agua.
- De la Cruz, R., & Ortega, R. (2024) Protocolo de actuación: sistemas de purificación. Xalapa, Veracruz.
- Ibarra, N. (2016) Análisis de filtros caseros como técnica de potabilización del agua en el sector rural. Colombia. 38–42 pp.
- Pereyra, D., & Almazán, R. (2022) Ingeniería y ciencias ambientales 15. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Robles, F. (2018) Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales. 17–30pp.
- Universidad Politécnica de Valencia. (2024) Desinfección del agua: una revisión a los tratamientos convencionales y avanzados con cloro y ácido peracético. Universidad Politécnica de Valencia. 185–204pp.
- Organización Mundial de la Salud (2023) Agua para el consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- United States Environmental Protection Agency (2023) Septic system care and maintenance. <https://www.epa.gov/septic/septic-system-care-and-maintenance>

CAPÍTULO 13.

MICROORGANISMOS PARA BIOPLÁSTICOS Y ESCALAMIENTO INDUSTRIAL

Cante, Israel¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

La contaminación generada por plásticos convencionales ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles como los bioplásticos, los polihidroxialcanoatos (PHA) producidos por microorganismos, como una bacteria que tolera la sal, destacan por su capacidad de biodegradarse sin liberar residuos tóxicos. El desarrollo de herramientas computacionales como laboratorio digital permite simular y optimizar la producción de plástico biodegradable (PHB), acelerando la transición del laboratorio a la industria. Este enfoque abre la posibilidad de fabricar botellas, utensilios y aplicaciones médicas biodegradables, posicionando a Chile y a la región como polos de innovación en biomateriales, sin embargo el escalamiento industrial enfrenta retos técnicos, económicos y regulatorios que deben resolverse para consolidar una bioeconomía circular capaz de sustituir los plásticos derivados del petróleo.

Palabras clave. Bioplásticos, microorganismos que fabrican plástico, bacterias que toleran la sal, PHB (plástico biodegradable), HaloGEM (laboratorio digital).

Introducción

Vivimos rodeados de plástico como botellas, bolsas, empaques y aunque nos facilitan la vida, también están dejando una huella enorme en el planeta porque tardan siglos en desaparecer. La pregunta es ¿podemos seguir usando plásticos sin que se conviertan en basura eterna? aquí es en donde entran en juego los bioplásticos, materiales que cumplen la misma función pero que se descomponen de manera natural, lo más emocionante es que algunos seres vivos, como la bacteria *Halomonas campaniensis*, ya están demostrando que pueden producir plásticos biodegradables y con modelos digitales como HaloGEM, los científicos pueden acelerar el proceso para que estas ideas no se queden en el laboratorio, sino que lleguen a la industria y a nuestra vida diaria.

Microorganismos como productores de bioplásticos

En los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica de Chile (UC), un grupo de investigadores encontró en una bacteria, un posible camino para reducir la contaminación que generan los plásticos que normalmente se utilizan, la protagonista de este avance es *Halomonas campaniensis*, un microbio que habita en ambientes con mucha sal, como lagos salados o playas,

donde pocas formas de vida pueden avanzar, este aguante natural no es solo una curiosidad biológica, convierte a la bacteria en una candidata ideal para producir bioplásticos, materiales que cumplen las mismas funciones que el plástico común, pero que se degradan de forma natural sin dejar residuos tóxicos (Info, 2025). El grupo de Ingeniería UC realizó una herramienta llamada HaloGEM, una especie de laboratorio digital que crea una función dentro de esta bacteria, gracias a este modelo, los investigadores pueden simular cómo bacterias que toleran la sal, se alimentan, crecen y crean un material conocido como PHB (poli(3-hidroxibutirato)), un tipo de bioplástico que puede usarse para fabricar envases, bolsas, vasos e incluso suturas médicas que se disuelven dentro del cuerpo tras una operación, evitando la necesidad de quitarlas y no causar dolor.

Cuando la bacteria se convierte en videojuego y ayuda al planeta

La gracia de este proyecto no está solo en la bacteria, sino en cómo los científicos la estudian, normalmente para entender cómo un microorganismo crea algo útil, los laboratorios tienen que cultivar colonias bacterianas, experimentar con medios de cultivo (la comida), variar

condiciones de la temperatura y medir los resultados una y otra vez, es un proceso lento y caro, que puede tomar muchos años. Con HaloGEM, gran parte del trabajo se puede hacer *in silico*, en la computadora.

Camila Orellana, profesora de Ingeniería Química y Bioprocesos en la Universidad Católica, cuenta que este modelo digital ayuda a ahorrar tiempo y dinero, además de permitir probar y ajustar cosas antes de pasar a la práctica real. “Con HaloGEM podemos ver en una simulación cómo la bacteria convierte los alimentos en PHB, y qué condiciones hacen que produzca más, así podemos organizar mejor los experimentos de verdad y acelerar la creación de plásticos biodegradables”, dice la investigadora. Según Orellana, esta capacidad de adelantarse a los resultados podría ser la diferencia entre proyectos que se quedan guardados en el laboratorio y materiales que realmente llegan al mercado como soluciones contra la contaminación.

Desde el laboratorio a los plásticos y hospitales

El PHB que produce *Halomonas campaniensis* sirve para muchos propósitos. A diferencia del plástico que viene del petróleo, este se degrada de forma natural en la tierra o en el agua, sin contaminar el medio con microplásticos ni químicos que puedan dañar. Además, es perfecto para

producir envases de comida, bolsas, vasos o hasta maceteros biodegradables. En medicina también usan el PHB para producir hilos de sutura que, después de cumplir su función, se descomponen sin que el paciente tenga que pasar por otra operación (Info, 2025). Actualmente, ya están probando piezas de autos y productos agrícolas hechos con este material, que ayudan a cuidar y nutrir el suelo sin dejar basura tóxica. Lo mejor de trabajar con *Halomonas campaniensis* es que se puede criar en agua salada y eso evita procesos caros de esterilización y permite producir en grande, con menos gasto y menos impacto ambiental.

El problema de los plásticos convencionales

Los plásticos de un solo uso, como botellas y bolsas, están metidos en nuestra vida diaria y han dejado una huella fuerte en el medio ambiente, se descomponen extremadamente lento o casi nunca, lo que hace que se acumulen cada vez más (Figura 1). En este panorama de crisis real, buscar alguna solución se ha vuelto una urgencia que preocupa bastante, los plásticos biodegradables son una alternativa, aunque tienen ventajas, también traen sus propios problemas, necesitan condiciones específicas para que de verdad se degraden, y además aparece la pregunta de fondo ¿cómo balancear la comodidad de la vida moderna con el

cuidado del planeta?, ¿Serán estos bioplásticos la solución final o solo una parte del camino?



Figura 1. Plásticos tirados en las calles, siendo contaminantes y portadores de virus. Fuente: Cordova et al., 2024.

La biodegradación, un proceso natural y vital

La biodegradación de plásticos es básicamente un proceso natural donde los microorganismos se encargan de desarmar estos materiales, bacterias y hongos se “comen” los componentes del plástico biodegradable y los van rompiendo en pedacitos más fáciles de manejar. Es como un banquete microscópico, los enlaces químicos del plástico se van quebrando y el material se transforma en piezas chiquitas que no dañan tanto al ambiente, al final lo que queda son cosas súper comunes en la naturaleza, como agua, dióxido de carbono y biomasa (Figura 2). ¡Imagínate un mundo donde los plásticos biodegradables son los héroes

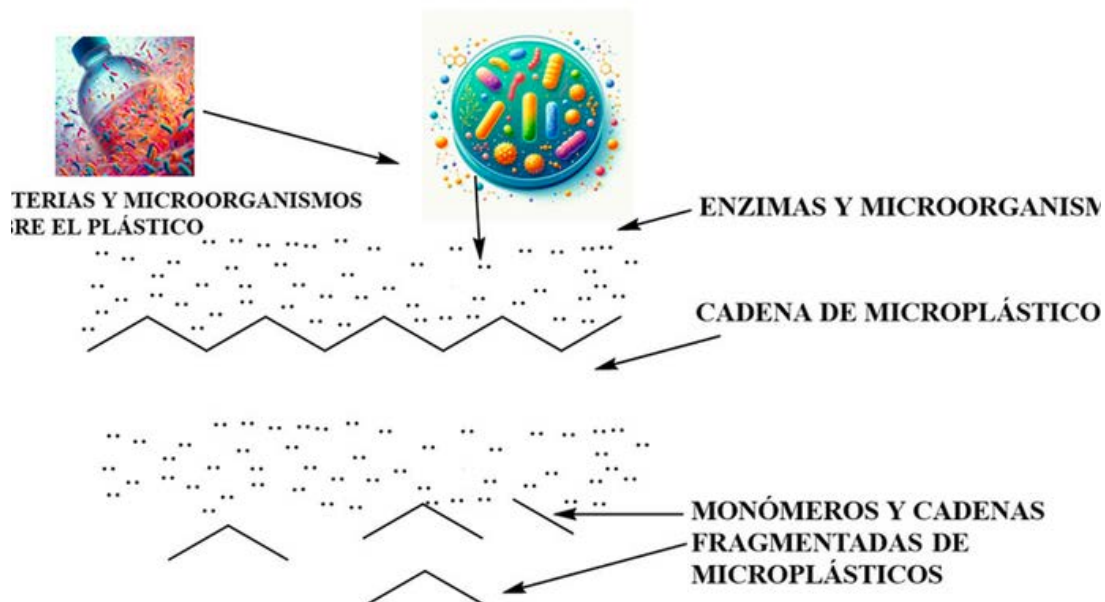


Figura 2. Esquema de los enlaces bioquímicos. Fuente: Cordova et al., 2024.

del planeta! se integran sin problema en los ciclos naturales, ayudan a reducir la basura y poco a poco van reemplazando a los plásticos de siempre, bajando el impacto ambiental a largo plazo.

Entre los plásticos biodegradables más conocidos está el ácido poliláctico (PLA), que se obtiene de cosas tan cotidianas como el maíz o la caña de azúcar, y se usa para hacer envases, vasos y hasta fibras para impresoras 3D. También está el almidón biodegradable, que básicamente aprovecha el almidón de plantas para fabricar bolsas o empaques que se deshacen mucho más rápido que el plástico tradicional. Otro grupo importante son los polihidroxialcanoatos (PHA), que son plásticos creados por bacterias y que se pueden usar en medicina o en envases. El polibutilenosuccinato (PBS) es otro material que se degrada bien y se utiliza en empaques y productos desechables. Existen los poliésteres alifáticos y los copolímeros de ácido poliláctico con policaprolactona (PLA-PCL), que combinan distintas propiedades para hacer plásticos más resistentes, pero aún biodegradables, y por último están los poliésteres aromáticos, que también entran en esta categoría de materiales que buscan ser menos dañinos para el medio ambiente.

¿Qué pasará en el futuro?

El futuro de los plásticos biodegradables pinta bastante prometedor, sobre todo gracias a los avances de la ciencia y al interés cada vez mayor por cuidar el planeta. El detalle es que todavía necesitamos seguir investigando y mejorando estos materiales para que se deshagan más rápido en distintas condiciones, porque eso abriría la puerta a usarlos en muchos más ámbitos de la vida diaria. Si logramos que se adapten a diferentes ambientes ya sea en tierra, agua o incluso en climas extremos su aporte ecológico sería mucho más fuerte. Ahora bien, aunque ya existen pruebas y certificaciones que garantizan que ciertos plásticos biodegradables cumplen lo que prometen, todavía hay obstáculos para que se usen de manera masiva. Los retos son tanto técnicos porque no siempre se degradan igual en todos los ambientes como económicos, ya que producirlos puede ser más caro que fabricar plásticos convencionales, elegir estos plásticos es un paso importante hacia un futuro más verde. No son la solución mágica que va a acabar de golpe con la contaminación plástica, pero sí representan una pieza fundamental del rompecabezas, poco a poco, junto con otras medidas, pueden ayudar a cambiar la forma en que producimos, consumimos y desechamos, acercándonos a un mundo más sostenible.

Aplicaciones y desafíos

Hoy en día los plásticos biodegradables ya se usan en una amplia diversidad de productos como bolsas de compras, envases de comida, artículos desechables, empaques para cosméticos e incluso embalajes que se venden como “ecoamigables”. La gran ventaja de estos materiales es que ayudan a reducir la basura que se queda por siglos, bajan el impacto en los ecosistemas, disminuyen la contaminación en los mares, ahorran recursos que no se pueden renovar, reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y, además, apoyan prácticas agrícolas más sostenibles. Todo esto también genera más conciencia ambiental y empuja un cambio cultural hacia hábitos más responsables.

Hay muchas ventajas, sí, pero no todo es color de rosa. Una revisión científica mostró que los plásticos biodegradables también pueden tener efectos en los ecosistemas acuáticos: pueden convertirse en vehículos de contaminantes y afectar la salud de peces, algas y otros seres vivos. Por eso los expertos insisten en que hay que investigar más cómo se degradan estos polímeros en distintos ambientes y entender mejor cómo se forman microplásticos a partir de ellos en condiciones naturales. Otro tema importante es la toxicidad y los riesgos

que podrían traer, como la resistencia a antibióticos o la acumulación de metales pesados. Son asuntos que necesitan más atención en futuras investigaciones. Además, la velocidad con la que se descomponen depende mucho del lugar: en vertederos o en zonas marinas profundas el proceso es mucho más lento, mientras que, en compostaje, suelo o ambientes acuáticos más favorables se degradan más rápido. Factores como la temperatura, el oxígeno, el pH y la propia estructura química del plástico influyen directamente en cómo se rompe y se transforma. Según la norma de ASTM International, un polímero se considera compostable cuando el 90% de su carbono se convierte en dióxido de carbono, pasando por varias fases: primero se deteriora, luego se fragmenta y finalmente se asimila en el entorno, se va desarmando hasta que se convierte en algo que la naturaleza puede integrar sin problema.

Conclusión

Los microorganismos tienen un potencial increíble, pueden ser los “obreros invisibles” que fabriquen plásticos biodegradables y nos ayuden a salir de la crisis ambiental, el caso de *Halomonas campaniensis* y HaloGEM muestra que la ciencia ya está encontrando caminos para producir

materiales más limpios y útiles. Claro, todavía hay obstáculos en producir a gran escala. Se requiere inversión y reglas claras, pero si logramos superar esos retos, podríamos tener bolsas, envases y hasta productos médicos que se integren al ciclo natural sin contaminar, en pocas palabras, los bioplásticos no son la solución mágica, pero sí una pieza clave para construir un futuro más responsable y sostenible.

Lecturas recomendadas

- Cordova, D. G., Flores, E. N., García, R. R., & Salvador, J. C. R. (2024) Panorama de la crisis de contaminación plástica ¿Y los plásticos biodegradables? Ciencia UNAM. Disponible en: <https://ciencia.unam.mx/leer/1543/panorama-de-la-crisis-de-contaminacion-plastica-y-los-plasticos-biodegradables>
- Info, B. (2025) Bioplásticos con bacterias: investigadores chilenos crearon un modelo computacional para producir materiales biodegradables. BioEconomia.info. Disponible en: <https://www.bioeconomia.info/2025/07/29/bioplasticos-con-bacterias-halomonas-chile/>
- Newsroom (2025) Investigan con microorganismos y virus para acelerar la biodegradación de bioplásticos. infobae. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/agencias/2025/11/05/investigan-con-microorganismos-y-virus-para-acelerar-la-biodegradacion-de-bioplasticos/>

CAPÍTULO 14.

BIOFLOC PARA EL CULTIVO SUPERINTENSIVO DE TILAPIA

Landa, Brenda¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

El crecimiento acelerado de la población a nivel mundial incrementa también la necesidad de brindar seguridad alimentaria, es decir, garantizar que todas las personas tengan acceso permanente a alimentos seguros y nutritivos. Por esta razón, el presente estudio busca exponer por qué el sistema biofloc es una alternativa viable y altamente conveniente para la producción de tilapia, porque además de reducir costos de alimento, mejora la calidad del agua, también, al mismo tiempo que se aprovechan los nutrientes del agua, se disminuye el impacto ambiental. Máxime, que el calentamiento global ocasionado por el efecto invernadero intensificado ha alterado los ecosistemas acuáticos tanto marinos como de agua dulce, reduciendo la disponibilidad de peces (para la pesca tradicional) y debilitando la seguridad alimentaria, porque ya no se garantiza el suministro estable y suficiente de proteína acuática. De este modo, se pretende argumentar cómo la práctica de la acuicultura a través del sistema biofloc para la producción superintensiva de tilapia, además de ser una práctica sostenible y sustentable, brinda seguridad alimentaria a la población.

Palabras clave. Seguridad alimentaria, salud, biofloc, sostenible, sustentable

Introducción

En la búsqueda de mejorar la salud y/o prevenir enfermedades cardiovasculares y gastrointestinales, se ha favorecido la creciente demanda por la proteína acuática, también, impulsada por el crecimiento de la población mundial, lo que ha puesto en evidencia la necesidad de implementar sistemas acuícolas sostenibles y sustentables. Estos sistemas agropecuarios, además de reducir costos, mejoran el aprovechamiento del agua y contribuyen al cuidado ambiental, también subsanan la disponibilidad limitada de peces de consumo humano tanto marinos como de agua dulce. En este contexto, el sistema biofloc se presenta como la mejor opción para brindar seguridad alimentaria a la población al mismo tiempo que se ofrece como una solución a los problemas ambientales. Por esta razón, se abordarán temas sobre el biofloc como innovación tecnológica, el mantenimiento de la calidad del agua en este sistema y la seguridad alimentaria como finalidad del cultivo a través del biofloc.

Biofloc como innovación tecnológica

El sistema biofloc se considera una alternativa eficiente para el cultivo superintensivo de tilapia en espacios pequeños, reduciendo los costos de producción.

“El término “biofloc” se refiere a un sistema o tecnología de producción realizado en tanques o estanques altamente oxigenados y en constante movimiento del agua”. Además, este sistema está diseñado para producir más en menos, es decir, que se pueden introducir grandes cantidades de organismos por unidad de espacio.

Tal como lo señalan Hernández, Londoño, Hernández & Torres:

Los Sistemas Biofloc (SB) se fundamentan en el Principio Básico de la Floculación, que consiste en mantener alta cantidad de flóculos en suspensión, compuestos por poblaciones microbianas que requieren mantenerse en continua recirculación con elevadas cantidades de oxígeno, dos factores que son dados por la aireación constante del agua mediante blowers o splash que, activados con corriente eléctrica, mantienen en movimiento las masas de agua de los estanques.

Para mejorar las condiciones en dicho ecosistema, se fertiliza con fuentes ricas en carbono, para favorecer el surgimiento de flóculos, es decir, aglomerados de microorganismos y materia orgánica que se forma en el agua, gracias a sustancias pegajosas producidas por bacterias, los cuales sirven como alimento natural para peces y mejorar la calidad del agua. “La tecnología biofloc se originó a principios de la década de 1970 en el Instituto Francés de Investigación para la

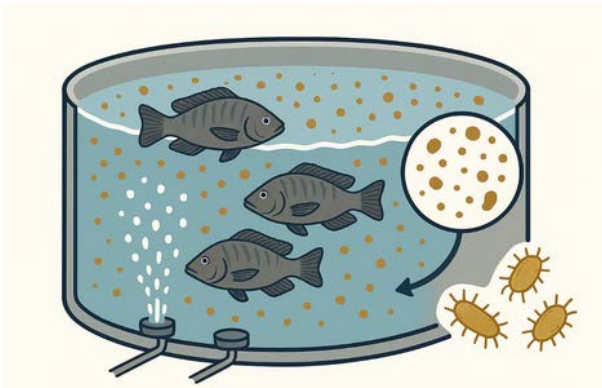


Figura 1. Flóculos en suspensión compuestos por poblaciones microbianas con permanente aireación.

Explotación del Mar (IFREMER) en Tahití, Polinesia Francesa”.

Es conveniente mencionar, que a diferencia de los sistemas de producción semiintensivo tradicional, desarrollada en estanques de tierra, el sistema biofloc no tienen producciones poco eficientes, sino por el contrario, se trata de un sistema que puede producir mucho en poco espacio y con un ahorro significativo del recurso natural más importante, el agua. Además, los sistemas en estanque de tierra, contrario al biofloc, “han generado impactos ambientales en los afluentes hídricos, por la adición de concentrado comercial, medicamentos para control de enfermedades, y por la acumulación de materia orgánica que adicionan cargas de contaminantes con levadas cantidades de metabolitos tóxicos”.

También, debe considerarse que en cualquier sistema intensivo de cultivo acuícola el mayor costo de producción es la alimentación, aunado a que la

mayor parte del alimento suministrado no es aprovechado por los peces.

A propósito de lo anterior, Castro et al. refieren que:

En la acuicultura, el sistema “biofloc” actúa como una trampa para la retención de nutrientes en los estanques, lo que disminuye los costos de mantenimiento de los mismos ya que sirve como complemento alimenticio de los organismos comerciales en cultivo, dándole valor agregado a las producciones, al mejorar las tasas de aprovechamiento de los alimentos.

Mantenimiento de la calidad del agua con el sistema biofloc

Tal como se mencionó con antelación, en la acuicultura con sistemas más tradicionales como el cultivo de peces en estanques de tierra, se utilizan grandes cantidades de agua, mismas que al final del proceso, es decir, una vez cumplida la función para la cual fue aprovechada, es desechada como agua residual. Estas aguas son contaminadas con la presencia de alimentos no consumidos, excreciones y animales muertos. Dicho en otras palabras, en esta forma de producción se contamina el propio ecosistema donde se cultivan los peces, pudiendo incluso ocasionarles la muerte, porque altas concentraciones de nutrientes como carbono, nitrógeno y fósforo causan procesos de eutrofización

(agotamiento de oxígeno disuelto) que impactan en la supervivencia de los organismos acuáticos. Por el contrario, el sistema biofloc lleva a cabo el reciclaje de nutrientes, de modo que los microorganismos en los bioflóculos, convierten el nitrógeno orgánico en biomasa microbiana, la cual puede ser utilizada como fuente suplementada de alimento.

De acuerdo con Ochoa *et al.*:

En una investigación realizada por Rodrigues de Lima *et al.* se implementó BFT para cultivo de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), se encontró una reducción del volumen de agua utilizada 11.8 veces menor en comparación a un sistema de cultivo convencional. Esto es realmente importante si se considera que la cantidad de agua utilizada en estanques de cultivo es de aproximadamente 45 m³ por kg producido.

El estudio muestra que BFT transforma el cultivo de tilapia en un sistema mucho más eficiente y sostenible, reduciendo el uso de agua de 45,000 litros a menos de 4,000 litros por kilo de pescado. Esto es un cambio radical en la forma de producir proteína acuícola.

No obstante, es necesario tener presente que no todas las especies acuáticas comestibles son aptas para ser cultivadas a través del sistema de biofloc y que, por la necesidad de este sistema de mantenerse con aireación

permanente, en caso de una falla en la corriente que suministra la electricidad, puede ocasionar la pérdida de dichos organismos.

Sin embargo, la correcta capacitación del personal encargado puede disminuir las pérdidas o fallas en el sistema de cultivo.

Seguridad alimentaria y biofloc

El término de seguridad alimentaria no sólo se refiere a disponibilidad y abastecimiento de alimentos para toda la población, sino también a la calidad y los métodos para su producción, los cuales sean amigables con el medio ambiente, es decir, que tengan como base los principios de sostenibilidad y sustentabilidad.

En este sentido, el sistema biofloc para el cultivo superintensivo de la mojarra tilapia como método de producción sostenible, es una de las mejores opciones para garantizar la seguridad alimentaria. Lo anterior, porque a través del mantenimiento de la calidad del agua se logra mantener condiciones óptimas para evitar enfermedades y asegurar la inocuidad del producto. Asimismo, se favorece el principio de sostenibilidad ambiental, toda vez que el biofloc como un tipo de acuicultura responsable disminuye la presión sobre ecosistemas naturales, contribuyendo a la conservación de especies, aunado a que reduce la

dependencia de la pesca extractiva.

Por otra parte, la cría de peces en ambientes controlados brinda la oportunidad de que comunidades tanto rurales como urbanas tengan acceso a pescado fresco a un precio más accesible y sin correr los riesgos que implica el trasladarse hasta zona costera para conseguir dicho alimento. Esto se suma a que, aunque puede conseguirse en supermercados, la única opción es la adquisición y consumo de producto congelado o refrigerado.

De acuerdo con Quintero, Sánchez, Bracho, Salazar, Pereira & Hernández:

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el sector de la acuicultura ha contribuido fundamentalmente en la seguridad alimentaria y nutricional de la población, principalmente de las más vulnerables. Cabe destacar que se conoce que más del 95% de la producción acuícola del mundo se hace en países desarrollados teniendo en promedio una tasa de crecimiento anual del 6.13%, producción valorada en más de 250,000 millones de dólares, abarcando un amplio grupo de especies desde plantas acuáticas y animales, siendo en su mayoría especies marinas, pero hasta el año 2019, la producción acuícola de pescado de agua dulce tuvo un incremento de más de 600,000 toneladas, siendo la principal actividad de producción en estanques de tierra.

Esto significa un gran avance para la seguridad alimentaria, porque además de incrementarse la producción de especies marinas para el consumo humano, como algas, peces y crustáceos como el camarón, también la acuicultura de peces de agua dulce ha mostrado un crecimiento importante.

En este sentido, el cultivo con biofloc además de favorecer la seguridad alimentaria, no sólo local sino mundialmente, también favorece la economía y, lo más importante, con el creciente desarrollo de cultivo de peces de agua dulce a través de este sistema, se logra diversificar la oferta incluso en zonas consideradas no desarrolladas, fortaleciendo también la disponibilidad de alimentos nutritivos para todos los sectores.

Conclusión

El cultivo de tilapia a través del sistema de biofloc favorece la reducción de gastos en la producción de esta proteína acuática, la cual tiene una alta demanda en el mercado, contribuyendo a producir grandes cantidades a menor costo y empleo de recursos naturales como lo es el agua, de ahí que atiende los principios de sostenibilidad y sustentabilidad.

Dicho de otro modo, el sistema biofloc aplicado al cultivo superintensivo de tilapia representa una alternativa tecnológica sostenible y sustentable frente a los retos de seguridad alimentaria y cambio

climático. Al transformar los desechos en nutrientes aprovechables, reduce costos de producción, mejora la calidad del agua y disminuye el impacto ambiental, garantizando al mismo tiempo el acceso a proteína acuática de calidad para la población. Aunque requiere un manejo técnico especializado y un suministro eléctrico constante, sus beneficios en términos de eficiencia, sostenibilidad y aporte a la salud pública lo convierten en una estrategia clave para fortalecer la acuicultura responsable y asegurar alimentos inocuos y nutritivos en el futuro. El sistema biofloc representa una innovación clave en acuicultura por su capacidad de reducir significativamente la huella ecológica en el cultivo de peces.

Al reciclar nutrientes y aprovechar la acción de microorganismos, disminuye la necesidad de recambio de agua y reduce el volumen utilizado hasta 11.8 veces en comparación con sistemas convencionales, en los cuales el consumo de agua para la producción de un kilo de mojarra alcanza hasta los 45,000 litros. Esto implica un ahorro hídrico notable y menor descarga de efluentes contaminantes al ambiente. Además, la biomasa microbiana generada sirve como alimento suplementario, optimizando recursos y reduciendo el uso de insumos externos. En conjunto, el sistema biofloc favorece una producción más sostenible, eficiente y respetuosa con los ecosistemas acuáticos.

Lecturas recomendadas

- Castro, L., Castro, T., De Lara, R., Castro, J. Castro, G. (2012). Sistemas biofloc: un avance tecnológico en acuicultura. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco Disponible en:
http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2012/ARTICULO1%20BIOFLOC%20VOL.1%202012%20ESPANOL.pdf
- Hernández, L., Londoño, J., Hernández, K., Torres, L. (2019). Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 14(1), 70-99 Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3214/321461742007/html/>
- Ochoa, M., Villanueva, E., Martínez, L., Calderón, K. (2023). Tecnología de bioflóculos: Un camino hacia la acuicultura sustentable. Epistemos (Sonora), 17(34), 1-20. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-81962023000100123
- Piñeros, J., Gutiérrez, M., Coelho, M., Lapa, M. (2020). Aireación en la tecnología Biofloc (BTF): principios básicos, aplicaciones y perspectivas. Revista Politécnica, 16(31), 29-40. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6078/607863449003/html/>
- Raza, B., Zheng, Z., Yang, W. (2024). Una revisión sobre la tecnología del sistema Biofloc, su historia, tipos y perspectivas económicas futuras en la acuicultura. Animals, 14(10), 1489.

CAPÍTULO 15.

ANALIZAR BIOQUÍMICAMENTE COLÁGENO DE PIEL DE TILAPIA PARA USO DERMATOLÓGICO REGENERATIVO EN CARDEL VERACRUZ

Cerda Hernández, María Fabiola¹

¹Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Polo Universitario Agroecológico y Pecuario, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Actopan s/n, 91480, Actopan, Veracruz, México.

Resumen

El colágeno es una biomolécula utilizada en el ámbito dermatológico para la reparación y regeneración de tejidos, durante estudios relevantes en estos años hemos podido descubrir que la piel de tilapia (*Oreochromis niloticus*), proveniente de un pez de origen africano caracterizado por su gran resistencia y crecimiento, tiene gran relevancia por su gran contenido de colágeno tipo I, favoreciendo el proceso para cicatrizar heridas. En la ciudad de Cardel, municipio de la Antigua, comienza a explorarse y tomarse en cuenta como una alternativa como en actividades acuícolas. Mediante el análisis bioquímico del colágeno tipo I, reconocemos su estructura y sus propiedades fisicoquímicas y su potencial para ser utilizado como biomaterial regenerativo. El presente proyecto tiene como objetivo explicar la relevancia del colágeno en piel de tilapia en el ámbito dermatológico, caracterización bioquímica y sobre todo las aportaciones en el ámbito clínico y académico en la ciudad de Cardel, aprovechando los recursos acuícolas para la innovación en la salud.

Palabras clave. Colágeno tipo I, piel de tilapia, regeneración dermatológica, innovación acuícola

Introducción

El colágeno es una proteína fibrosa estructural que se encuentra de manera abundante en animales vertebrados como la tilapia, un pescado de agua dulce común en América Latina y una de las especies más cultivadas en el río La Antigua por su buena resistencia y fácil reproducción. El colágeno que contiene la piel de tilapia es el colágeno tipo 1 compuesto por tres aminoácidos principales como lo es la glicina, prolina e hidroxiprolina, formado por cadenas polipeptídicas constituidas por tripletes repetidos Gly-XY de glicina que son las más comunes entre aproximadamente 1,000 aminoácidos totales teniendo como función la resistencia, elasticidad y soporte estructural especialmente en la piel.

La biomolécula de colágeno desempeña un papel fundamental en la restauración de heridas y cicatrización de manera rápida, por lo que en los últimos años ha aumentado y se ha impulsado la búsqueda de fuentes de colágeno para aplicaciones dermatológicas, sin embargo, la tilapia ha presentado diversas cualidades lo cual la convierten en una opción viable para el desarrollo de apósitos biológicos y materiales regenerativos.

El análisis bioquímico del colágeno tipo I es fundamental para garantizar la eficacia y seguridad de la extracción del

colágeno de manera exitosa y pura para poder brindar un resultado favorable en los tratamientos dermatológicos.

La Antigua destaca por sus proyectos de pesca y acuicultura, para impulsar propuestas de subproductos acuícolas en el uso de aplicaciones biomédicas. Destacando la importancia del estudio del colágeno tipo I en la piel de tilapia convirtiéndolo en un material importante como una alternativa para mejorar la recuperación de pacientes con quemaduras y heridas profundas. Esta alternativa se presenta como una opción de bajo costo y eficaz, pero sobre todo de manera accesible por su fácil obtención reduciendo los insumos hospitalarios y teniendo una respuesta favorable, sin complicaciones en relación con otros tipos de piel como la de cerdo. Lo anterior, debido a que la piel de tilapia tiene una respuesta rápida sin complicaciones ya que presenta baja inmunogenicidad, disminuyendo su dolor y acelerando la recuperación.

Piel de tilapia como recurso biomédico

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es un pescado de origen africano de agua dulce, siendo uno de los principales cultivados en todo el mundo, pero principalmente en América Latina, es uno de los pescados con gran

importancia en acuicultura. El río La Antigua, es característico por tener la especie de tilapia ya que es una especie muy resistente y con una rápida reproducción por lo que tiene una adaptabilidad de manera rápida a diferentes ambientes. Por lo que en esta zona ha destacado una idea relevante en el uso de su piel para aplicaciones biomédicas y en productos dermatológicos.

Desde el análisis, la tilapia es una fuente de materia prima económica y un material fácil de adquirir de manera sostenible, su fácil reproducción garantiza la existencia de la piel de tilapia en todo momento y de manera abundante ya que antes no era utilizado como un producto favorable o con un alto valor significativo en la salud principalmente y en el ámbito de la química clínica, por lo que no era utilizado en los hospitales de la región de La Antigua. Debido a los cambios de economía en los últimos cinco años en la región se optaron por nuevas oportunidades en el ámbito de la salud dejando entrada a la economía circular en acuicultura. Así, transformando la piel de tilapia en un recurso sustentable y útil para la población en general, apoyando al medio ambiente reduciendo un impacto ambiental con innovaciones científicas.

Caracterización bioquímica del colágeno de la piel de tilapia

Los métodos actualizados de análisis han permitido obtener el colágeno de manera pura mediante procesos enzimáticos y ácido pepsina. Mediante el cual nos han confirmado que el colágeno de tilapia tiene un alto contenido de glicina, principal componente del colágeno, representando un 40% de su estructura. Para ello tenemos el colágeno tipo I que es el compatible con la piel humana de manera esencial para restaurar y cicatrizar debido a su elasticidad y resistencia, por consiguiente debemos de analizar los aminoácidos que los componen en este caso el colágeno I se caracteriza por la abundancia de glicina e hidroxiprolina, que es un indicador de pureza de colágeno.

Una comprobación de su estructura es verificar que el colágeno conserve su estructura triple hélice. Esto ya que es su forma natural y permite que el colágeno sea un material resistente. El análisis de su estabilidad de temperatura permite conocer si es posible transportarlo hasta el momento del uso, ya que la tilapia suele tener una temperatura menor a otro tipo de

animales. Es por ello que es un buen manejo y almacenamiento nos seguran un buen tratamiento. Confirmando que el colágeno es totalmente puro y seguro para el tratamiento del paciente y sobre todo para su uso de regeneración de tejidos.

Métodos de extracción y purificación

Las investigaciones científicas han mencionado significativamente, los métodos de extracción y purificación del colágeno de piel de tilapia. Debido a que estos métodos son procesos que se combinan con tratamientos químicos, enzimáticos y físicos para poder separar el colágeno de otros componentes como es la grasa y otros residuos que no deseamos. Esto con el objetivo de obtener una muestra pura y funcional en el momento de aplicación en el uso dermatológico, siendo un biomaterial seguro y estable para la población, cumpliendo su función regenerativa. Teniendo en cuenta que estos avances están enfocados en las fibras de colágeno para evitar su degradación, así como la eliminación de sustancias y material no deseado como grasas y pigmentos.

Para ello, se debe de tener un manejo adecuado en la extracción comenzando con la preparación de la piel de tilapia.

El primer paso, es la limpieza con agua purificada y por consiguiente retirar las escamas y partículas. Se agrega etanol como un solvente para retirar la grasa para después agregar soluciones alcalinas como NaOH para eliminar proteínas que no deseamos, pasando a la desmineralización usando ácido clorhídrico para facilitar la salida del colágeno, manteniendo su estructura y su calidad ya que es nuestro principal objetivo.

Aplicaciones dermatológicas regenerativas

El colágeno en la piel de tilapia mostró interés en el año 2020 cuando la investigación en dermatología regenerativa aumentó, demostrando que la piel de tilapia tiene una alta compatibilidad para imitar la estructura del ser humano por su tipo de colágeno que predomina de igual manera en el ser humano. Esto favorece la recuperación del paciente, ya que se adhiere correctamente a las heridas. Al ser compatible y permitir la pérdida de líquidos, la piel de tilapia simula una venda, pero de manera natural y efectiva de bajo costo del material. De esta manera, actúa como un reparador de piel con menos reacciones alérgicas en comparación con la piel de cerdo debido a que la piel de tilapia es más elástica y así evitar un rechazo inmunológico.

Los estudios han demostrado que la piel de tilapia crea un microambiente para que actúe la cicatrización debido a que mantiene la humedad y facilita el depósito de la matriz extracelular. La piel se adhiere de manera inmediata y uniforme en la lesión evitando que se abra para proteger la entrada de bacterias a la herida o la quemadura, manteniéndolos con una barrera biológica estable. En otras palabras, actúa como una rápida reorganización de fibras de colágeno en un periodo corto de tiempo, evitando la inflamación debido a la estructura procedente a la eliminación de lípidos no deseados emitiendo la formación de edemas con enrojecimiento y beneficiosa para la regeneración.

Haciendo mención al artículo *Physicochemical and Biocompatibility Properties of Type I Collagen from the Skin of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) for Biomedical Applications* publicado en el 2019 donde el autor menciona que “El colágeno tipo I extraído de la piel de tilapia presenta propiedades fisico-químicas y biocompatibilidad que lo convierten en una alternativa prometedora a los colágenos mamíferos para aplicaciones biomédicas y para apósitos dermatológicos regenerativos”.

De igual manera promueve la proliferación de fibroblastos ya que el

colágeno forma una red de fibras que se conectan con las células y las apoyan, debido a que se adhieren de manera rápida al colágeno de tilapia y eso mantiene la forma de la piel y el hueso, acelerando de manera rápida la reconstrucción del tejido conectivo por lo cual mejorara la resistencia y elasticidad de la piel regenerada. Es decir, el colágeno actúa como un sustituto de manera temporal de la piel para que las células epiteliales puedan formar en el tiempo determinado la nueva capa de piel protectora obteniendo una regeneración epitelial más uniforme. Así, evita las cicatrices al promover la reparación del tejido por su alta concentración de colágeno I y por su manera de mantener la piel hidratada. Es por ello que el resultado de las cicatrices que se forman son pequeñas y no logran verse debido a que son menos notorias.

Relevancia para la población de Cardel, Veracruz

La ciudad de Cardel, municipio de La Antigua, tiene una ubicación estratégica dentro de la región costera de Veracruz en la cual la actividad acuícola tiene una gran producción de tilapia, la ciudad de Cardel y sus alrededores se caracterizan por ser una región pesquera y con gran variedad de especies de vertebrados. Sin embargo, la más abundante es la tilapia. Está disponibilidad convierte a la piel de

este pez en un subproducto abundante, económico y subutilizado. Esto nos da la oportunidad de transformarlo y que pueda ser utilizado para recursos biomédicos de manera pura, con un alto valor mediante la extracción del colágeno, teniendo como meta apoyar al estudio científico y conservar la especie pero sobre todo cumplir nuestro principal objetivo el cual es favorecer a los pacientes en los hospitales y centros de salud con una estrategia innovadora y económica para tratar heridas, quemaduras y disminuir cicatrices.

La nueva estrategia de aplicación de la piel de tilapia podría reducir los costos hospitalarios, utilizados principalmente como tratamiento para quemaduras o heridas graves, permitiendo desarrollar su material regenerativo a comparación de otros medicamentos o productos comerciales con un alto costo fortaleciendo los servicios de salud en la localidad de Cardel.

De igual manera es un tema relevante para los estudiantes de universidades aledañas, integrando conocimientos de medicina veterinaria en la experiencia educativa de acuicultura. Teniendo como propósito promover la colaboración entre instituciones y alumnos, se promueve la formación de estudiantes en aprovechamiento de la

piel de tilapia para generar nuevos proyectos y modelos de bioeconomía circular. De esta manera, se transforma un desecho acuícola en un insumo de alto valor agregado, reduciendo el impacto ambiental y fomentando la innovación productiva en la región.

De acuerdo con observaciones clínicas locales publicadas, en el año 2024 se realizó un estudio en los dos hospitales de la ciudad de Cardel en la cual contribuía al uso de la piel de tilapia en pacientes que fueron tratados para un proceso regenerativo (Figura 1).

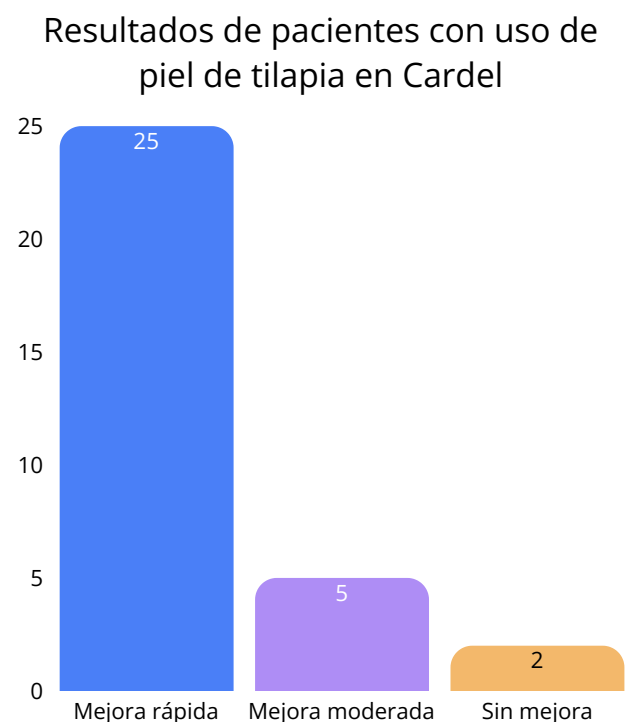


Figura 1. Datos obtenidos de aplicación de piel de colágeno en pacientes de Cardel, Veracruz. Fuente: Elaboración propia con los datos recabados.

En el ámbito de la salud, la producción de tilapia permite al personal contar con un material sumamente accesible debido a su lavado y desinfección de la piel. Con una gran calidad y pureza dermatológica manteniendo sus fibras y glicina para terapias de regeneración y restauración de heridas profundas. Esto facilita al servicio médico obteniendo un producto de bajo costo, mediante el cual ya no será un límite para la población con productos comerciales con alto costo y poder llevar a cabo el servicio y tratamiento reduciendo el tiempo de cicatrización con una pronta recuperación (Figura 2).

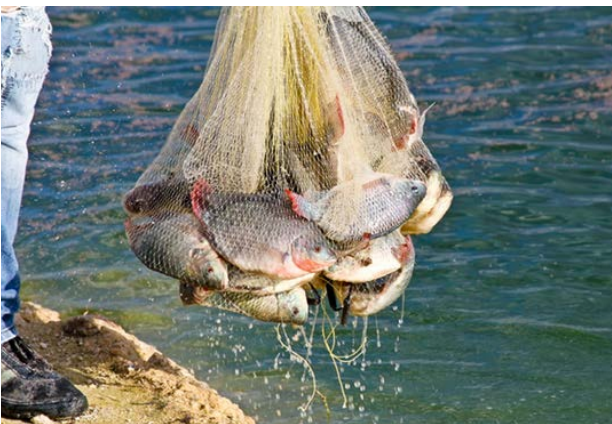


Figura 2. Captura de tilapia en sistema acuícola de Veracruz. Fuente: Gobierno de México, 2017.

como resultado que presenta una alta compatibilidad biológica con la piel del ser humano. Por lo cual favorece su integración de manera rápida, para regenerar y cicatrizar especialmente en procedimientos estéticos, presentando un menos riesgo de reacciones inmunológicas a comparación como pieles de cerdo. De igual manera la incorporación de técnicas modernas de extracción, como la hidrólisis ácido-enzimática y la liofilización, ha permitido obtener colágeno con mayor pureza, estabilidad y funcionalidad, incrementando su eficacia en apósitos, injertos temporales y terapias dermatológicas avanzadas. Este punto no solo nos permite utilizar la piel de tilapia sino abrir nuevos campos para otros posibles usos teniendo un aprovechamiento de subproductos agrícolas.

Conclusión

El análisis bioquímico del colágeno extraído de la piel de tilapia es una alternativa innovadora debido al desarrollo de nuevas aplicaciones, dermatológicas regenerativas. Teniendo

Lecturas recomendadas

- BMC Veterinary Research (2020) Collagen extract obtained from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) skin accelerates wound healing in rat model via upregulating VEGF, bFGF, and α -SMA genes expression. BMC Veterinary Research, 16(1), 405.
<https://doi.org/10.1186/s12917-020-02566-2>
- de Moraes, M. R., & de Oliveira, E. B. (2022) Evaluation of physicochemical properties of Nile tilapia skin collagen extracted in acid medium. Scientia Horticulturae, 296, 110867.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110867>
- Eátegui Pinedo, N. Y. (2019) Extracción de colágeno tipo I de piel de tilapia (*Oreochromis niloticus*) por los métodos acuoso y enzimático (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Trujillo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12390/3160>
- Falconí Tarira, F. E., Torres Chóez, B. S. (2018) Extracción y caracterización de colágeno a partir de pieles de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) y albacora (*Thunnus alalunga*) (Tesis de ingeniería química). Universidad de Guayaquil.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33451> 
- Fang, Y., Chen, M., Lin, H. (2021) Characterization and biomedical application of collagen from tilapia skin: A review. Journal of Biomaterials Science, 32(5), 623–640.
- Gobierno de México (2017) ¿Conoces qué pescamos en México? Disponible en:
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-pescamos-y-cuanto-pescamos>
- Holmes, R., Kirk, S., Tronci, G., Yang, X., Wood, D. J. (2017) Influence of telopeptides on the structural and physical properties of polymeric and monomeric acid-soluble type I collagen. bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/160953>
- Lee, J., Park, H., Kim, S. (2023) Tilapia-derived collagen dressings accelerate wound healing: A clinical evaluation. International Journal of Dermatology, 62(4), 512–520.
- Megías, M. (2011) Atlas de histología vegetal y animal (2ª ed.). Barcelona: Editorial Médica Panamericana.
- Nalin, M., Oliveira, D., de Menezes, F. (2020). Optimization of the collagen extraction from Nile tilapia skin (*Oreochromis niloticus*) and its hydrogel with hyaluronic acid. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials, 108(3), 1137–1147.
<https://doi.org/10.1002/jbm.b.34567>
- Quintero, J., Zapata, J. E. (2017) Optimización de la extracción del colágeno soluble en ácido de subproductos de tilapia roja (*Oreochromis* spp.). Información Tecnológica, 28(1), 109–120.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100011>

Lecturas recomendadas

- Quiroz-Castillo, J. M., Leyva-Verduzco, A. A., Chan-Chan, L. H., Ramírez-Mendoza, C. G., García-Sifuentes, C. O., Zamorano-Apodaca, J. C., ... González-González, D. C. (2025) Tilapia skin extracted collagen, PLA, genipin crosslinking and electrospinning technique for tissue engineering membranes elaboration. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 34(3), 147–162. <https://doi.org/10.1080/10498850.2025.2497252>
- Ricard-Blum, S. (2011) The collagen family. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 3(1), a004978. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a004978>
- Ross, M. H., Pawlina, W. (2015) *Histología: texto y atlas color con biología celular y molecular (7ª ed.)*. Barcelona: Médica Panamericana.
- Sethi, S., Vyas, V., Anand, P. (2022) Fish collagen as a novel biomaterial for skin regeneration: Advances from 2020 to 2022. *Biomaterials Advances*, 145, 112–124.
- Silva, J. V. B., Santana, W. F. (2022) Identification and release kinetics of peptides from tilapia skin collagen during alcalase hydrolysis. *Food Chemistry*, 385, 132781. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132781>
- Tronci, G., Brooker, C. (2022) Effect of mammalian tissue source on the molecular and macroscopic characteristics of UV-cured type I collagen hydrogel networks. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/025473>
- Tronci, G., Kanuparti, R. S., Arafat, M. T., Yin, J., Wood, D. J., Russell, S. J. (2015) Wet-spinnability and crosslinked fibre properties of two collagen polypeptides with varied molecular weight. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/082721>
- Tronci, G., Yin, J., Holmes, R. A., Liang, H., Russell, S. J., Wood, D. J. (2016) Protease-sensitive atelocollagen hydrogels promote healing in a diabetic wound model. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/082721>
- Wang, L., Xu, Y., Zhao, Q. (2022) Improved acid-pepsin extraction of collagen from tilapia skin for medical biomaterials. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194(2), 855–869.
- Zambrano-Muñoz, D. M., Pazmiño-Peñafiel, P. G., Pazmiño-Miranda, N. P. (2023) Aprovechamiento de escamas de tilapia negra para la producción de colágeno. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 15(2), 1–14. <https://doi.org/10.56519/csy0ks23>
- Zhang, X., Li, Y., Zhou, Y. (2020) Functional properties of collagen extracted from freshwater fish skin and its potential for biomedical use. *Marine Drugs*, 18(12), 644

