

ISSN: en trámite

Revista

de Ciencias
Agroalimentarias
y Biotecnología

Revista de Divulgación Científica de la Facultad de Agronomía - UANL

Volumen 01
Número 03
Septiembre - Diciembre
2024

Una publicación de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Santos Guzmán López

Rector

M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez

Director de la Facultad de Agronomía

M.C. Jesús Andrés Pedroza Flores

Subdirector Académico

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto

Subdirectora de Posgrado e Investigación

Dr. Sergio Eduardo Bernal García

Subdirector Administrativo

M.C. Nora Estela García Treviño

Subdirectora de Vinculación y Servicio Social

M.C. Eduardo Alejandro García Zambrano

Subdirector de Planeación y Mejora Continua

Directora Editorial: Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto

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

Editora Técnica: M.A. Blanca Idolisa Contreras Cantú

Revista de Ciencias Agroalimentarias y Biotecnología, Vol. 1 Núm. 3 (2024): Septiembre -Diciembre 2024, Revista de Divulgación Científica de la Facultad de Agronomía de la UANL es una publicación cuatrimestral, editada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Agronomía. Directora Editorial: Dra. Guadalupe Gutiérrez Soto. Domicilio de la publicación: Francisco Villa s/n, Ex Hacienda "El Canadá", Cd, General Escobedo, Nuevo León, México, C.P. 66050. Teléfono: 81 1340 4399. Responsable de esta edición Dra. Guadalupe Gutiérrez Soto. Reserva de derechos al uso exclusivo: en trámite. eISSN: en trámite. Fecha de última modificación: 2024-09-22

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

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

Publicado en México.

Todos los derechos reservados.

revista.cab@uanl.mx

PRESENTACIÓN

En este tercer número de la Revista de Ciencias Agroalimentarias y Biotecnología, abordamos temas clave que vinculan la biotecnología con la sostenibilidad y la producción eficiente de alimentos. Exploraremos los sistemas de producción enzimática, que desempeñan un papel fundamental en la industria agroalimentaria al mejorar los procesos productivos.

También trataremos la ciencia de los alimentos, con un enfoque en la calidad y seguridad alimentaria, y el análisis de ciclo de vida, una herramienta esencial para evaluar el impacto ambiental de los productos. Este número está diseñado para un público general interesado en comprender cómo la biotecnología está moldeando el futuro de la producción de alimentos y la sostenibilidad.

Dra. Guadalupe Gutiérrez Soto
Directora Editorial



CONTENIDO

Pág.

1 Producción Enzimática con Co-Cultivos Fúngicos

7 Evaluación biológica como un indicador de la calidad de vida saludable del Atleta Universitario

13 El cáñamo (*Cannabis sativa* L.): la planta de los mil y un usos y su aprovechamiento en la producción animal

21 *Tradescantia spathacea* y epigalocatequina; ciencia en la medicina ancestral

25 El Agua: Pilar Fundamental para la Sostenibilidad del Futuro



Imagen ilustrativa / Propiedad del autor

PRODUCCIÓN ENZIMÁTICA CON CO-CULTIVOS FÚNGICOS

En el ámbito de la biotecnología moderna, la producción enzimática mediante co-cultivos se presenta como una estrategia innovadora y prometedora, capaz de superar las limitaciones de los cultivos monoclonales tradicionales. Las prácticas de fermentación han sabido aprovechar la sinergia natural entre diversos microorganismos, pero su aplicación dirigida para la obtención de enzimas específicas es un desarrollo reciente. Si bien esta técnica ofrece un gran potencial, también presenta desafíos significativos que deben abordarse para su implementación exitosa. Entre ellos se encuentran el control de las interacciones microbianas, la optimización de las condiciones de cultivo y la escalabilidad de los procesos, que enfrentan dificultades tanto técnicas como económicas. A pesar de estos retos, las perspectivas futuras para los co-cultivos son muy optimistas. Los avances continuos en biología sintética, ingeniería de consorcios y tecnologías de modelado permitirán superar estos obstáculos y posicionar a los co-cultivos como una herramienta fundamental en la biotecnología industrial. De esta manera, se espera que contribuyan a una producción enzimática más eficiente, sostenible y rentable. El presente artículo tiene como objetivo detallar los estudios más relevantes sobre la producción enzimática utilizando co-cultivos. Para ello, se realizará una revisión exhaustiva de la literatura científica, identificando el potencial de producción de esta técnica y explorando sus aplicaciones en diversas áreas industriales.

Iosvany López-Sandi¹, Roberto Parra Saldivar¹, H.N.M. Iqbal¹, Monserrat Franco Flores¹, Diana Castillo Martínez¹, Guadalupe Gutiérrez Soto^{1*}

Biomolecular Innovation Group, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Francisco Villa S/N, Col. ExHacienda El Canadá 66415, General Escobedo, N.L., México.

*Correspondencia: ggutierrez0402@gmail.com

Introducción

Las enzimas, biomoléculas catalíticas producidas por los organismos vivos, desempeñan un papel fundamental en diversos procesos biológicos. Su capacidad para acelerar reacciones químicas específicas las convierte en herramientas indispensables en diversas industrias, como la alimentaria, farmacéutica, textil y de biocombustibles. La producción enzimática tradicionalmente se ha basado en el cultivo de microorganismos individuales, utilizando sustratos simples y condiciones de cultivo controladas. Sin embargo, este enfoque presenta limitaciones en cuanto a la productividad, la complejidad de las enzimas obtenidas y la sostenibilidad ambiental [1].

La producción de enzimas es un proceso biotecnológico complejo que implica la generación de enzimas, que son proteínas biocatalizadoras altamente específicas y sensibles esenciales para varias aplicaciones industriales, incluido el procesamiento de alimentos, productos farmacéuticos, textiles y más [2]. El proceso comienza con la selección de fuentes de enzimas, que pueden ser microorganismos, plantas o animales, prefiriéndose las fuentes microbianas debido a sus ventajas tecno-económicas [3-4]. Las enzimas se pueden producir a través de procesos de fermentación, que se clasifican en técnicas de fermentación sumergida y en estado sólido. El proceso de producción se puede optimizar utilizando ingeniería genética y otras técnicas modernas para mejorar el rendimiento y la eficiencia [2]. Los residuos agroindustriales, como las biomásas lignocelulósicas, a menudo se utilizan como sustratos para reducir los costos de producción y abordar las preocupaciones ambientales relacionadas con la eliminación de desechos [4]. La tecnología de producción de enzimas agrícolas, por ejemplo, implica la fermentación de materias primas de desecho como tallos y hojas de vegetales para crear fertilizantes que mejoren el rendimiento y la calidad de los cultivos [5]. Después de la fermentación, se emplean pasos de procesamiento posteriores, como la ruptura celular, la filtración y la cromatografía, para purificar y concentrar las enzimas de la matriz a granel, lo que contribuye significativamente al costo total de producción [2]. Las aplicaciones de las enzimas en el procesamiento de alimentos son particularmente notables por su alta eficiencia catalítica y especificidad, que son ventajosas sobre los métodos de extracción tradicionales de microorganismos, plantas y tejidos de mamíferos [6]. A pesar de los avances, siguen existiendo desafíos en la producción de enzimas de manera económica y sostenible a gran escala, lo que requiere investigación y desarrollo continuos en este campo [4,6].

En este contexto, el co-cultivo microbiano ha emergido como una estrategia innovadora en la producción



de enzimas, presentando ventajas significativas sobre los cultivos monoclonales tradicionales. Esta técnica se basa en el aprovechamiento de las interacciones sinérgicas entre diferentes especies microbianas para potenciar la eficiencia y la diversidad de las enzimas producidas. Estudios recientes han demostrado que el co-cultivo de microorganismos puede incrementar notablemente la producción de enzimas celulolíticas y hemicelulolíticas [6]. Los primeros análisis de co-cultivos se centraron en la comprensión de las interacciones entre microorganismos, tanto naturales como inducidas artificialmente [7]. Sin embargo, en la actualidad, existe un amplio reconocimiento de que los co-cultivos también pueden emplearse de manera efectiva para optimizar etapas críticas en una ruta biosintética, estimular la síntesis de enzimas y aumentar la producción de proteínas [8]. A pesar de los desafíos significativos que presenta, como el control de las interacciones microbianas y la optimización de las condiciones de cultivo, se espera que los co-cultivos desempeñen un papel cada vez más crucial en la biotecnología industrial, ofreciendo una producción enzimática más eficiente y sostenible.

¿Qué es un co-cultivo?

En los co-cultivos, la degradación y metabolización de los sustratos se logra gracias a la actividad metabólica conjunta de diferentes microorganismos presentes en el mismo cultivo [9]. El empleo de co-cultivos ha sido considerado como una alternativa para potenciar la producción de metabolitos y enzimas, en comparación con los monocultivos. Se estima que los co-cultivos de hongos de diferentes especies pueden aumentar la obtención de enzimas con mayor rendimiento y eficacia [10].

En la naturaleza existen co-cultivos de hongos para la degradación de la lignina, y desempeñan un papel importante en la descomposición eficiente de este polímero complejo (Figura 1). La biomasa lignocelulósica, que incluye lignina, es la biomasa más abundante en la tierra y es degradada naturalmente por comunidades enteras de microorganismos, incluidos hongos y bacterias, que actúan sinérgicamente para reciclar el carbono [11]. En entornos naturales, como los bosques, los sustratos leñosos suelen ser descompuestos por diversas comunidades microbianas, que incluyen varias especies de hongos que contribuyen a la degradación de la lignina [12]. Las interacciones entre estos microorganismos se pueden clasificar como sinérgicas, antagónicas o neutrales, dependiendo de su compatibilidad y las condiciones ambientales específicas [13].



Figura 1. Co-cultivos en la naturaleza.

¿Cómo producir enzimas fúngicas utilizando co-cultivo?

El cultivo conjunto de dos especies de hongos en un entorno con limitación de nutrientes y condiciones ambientales específicas favorece su interacción. Dependiendo de la naturaleza de esta interacción, los hongos pueden actuar en antagonismo o sinergismo. En el caso del antagonismo, los hongos pueden producir metabolitos que inhiben el crecimiento de la otra especie presente en el co-cultivo. Por el contrario, el sinergismo se caracteriza por una interacción positiva en la que ambos hongos se benefician mutuamente [14].



Imagen ilustrativa / Propiedad del autor

¿Cuáles son los beneficios de los co-cultivos en la producción enzimática?

La producción de enzimas en co-cultivos ofrece varias ventajas sobre el mono-cultivo (Figura 2), principalmente debido a una actividad enzimática mejorada, una mayor producción de biomasa y una adaptabilidad ambiental más amplia. Los co-cultivos imitan los procesos de biodegradación naturales, lo que a menudo resulta en actividades enzimáticas más altas. Existen evidencias que respaldan la efectividad de los co-cultivos, destacando su simplicidad y eficiencia. Estos métodos no requieren de manipulaciones genéticas complejas ni del uso de reactivos químicos inductores costosos [12]. Además, el uso de diversas especies de hongos en un único cultivo permite la obtención de extractos enzimáticos ricos en diferentes tipos de enzimas, tales como celulasas, xilanasas y enzimas modificadoras de lignina [13]. A pesar del potencial de los co-cultivos fúngicos, existen algunos desafíos que deben abordarse para su desarrollo a gran escala.



Ventajas

- Sinergia entre microorganismos para una mayor producción enzimática.
 - Obtención de enzimas con propiedades mejoradas.
- Posibilidad de utilizar sustratos complejos.
 - Reducción del impacto ambiental.



Desafíos

- Control de las interacciones microbianas.
- Optimización de las condiciones de cultivo.
 - Escalabilidad de los procesos.

Figura 2. Ventajas y desafíos de la producción enzimática en co-cultivo.

Desafíos y perspectivas futuras

A pesar de las prometedoras aplicaciones de los co-cultivos fúngicos, su transición del laboratorio a la industria no está exenta de obstáculos. Para aprovechar al máximo el potencial de esta tecnología, es fundamental abordar desafíos como la optimización de las condiciones de cultivo, la selección de cepas adecuadas y el desarrollo de procesos escalables (Figura 3).



Figura 3. Desafíos y perspectivas de la ampliación del co-cultivo.

Conclusiones

La utilización de co-cultivos de hongos pueden aumentar significativamente la producción de enzimas lignocelulósicas, aprovechando la sinergia entre diferentes especies para mejorar la eficiencia de los procesos biotecnológicos. Esta estrategia no solo mejora la degradación de biomasa para la producción de biocombustibles y productos químicos de valor agregado, sino que también tiene aplicaciones potenciales en la biorremediación y otras industrias.



Imagen ilustrativa / Propiedad del autor

Referencias

1. Agarwal, PK (2006). Enzimas: una visión integrada de la estructura, la dinámica y la función. *Fábricas de células microbianas*, 5, 1-12. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-5-2>
2. Sharma, G., & Vimal, A. (2023). Industrial Processing of Commercially Significant Enzymes. *Recent Innovations in Chemical Engineering (Formerly Recent Patents on Chemical Engineering)*, 16(1), 3-15. <https://doi.org/10.2174/2405520416666230301112734>
3. Yoo, Y. J., Feng, Y., Kim, Y. H., Yagonia, C. F. J., Yoo, Y. J., Feng, Y., ... & Yagonia, C. F. J. (2017). Production of Enzymes. *Fundamentals of Enzyme Engineering*, 23-33. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1026-6_3
4. Kaur, R., Panesar, P. S., & Singla, G. (2022). Production of Enzymes from Agro-Industrial Byproducts. In *Valorization of Agro-Industrial Byproducts* (pp. 89-116). CRC Press.
5. Liu, Daqing. (2017). Production technology for agricultural enzyme.
6. Li, Q., Zhang, G., & Du, G. (2022). Production of food enzymes. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 139-155). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823506-5.00015-1>
7. Chen, A., Wang, D., Ji, R., Li, J., Gu, S., Tang, R., & Ji, C. (2021). Structural and Catalytic Characterization of TsBGL, a β -Glucosidase From *Thermofilum* sp. ex4484_79. *Frontiers in microbiology*, 12, 723678. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.723678>
8. Rosero-Chasoy, G., Rodríguez-Jasso, R. M., Aguilar, C. N., Buitrón, G., Chairez, I., & Ruiz, H. A. (2021). Microbial co-culturing strategies for the production high value compounds, a reliable framework towards sustainable biorefinery implementation - an overview. *Bioresource technology*, 321, 124458. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124458>
9. Ganesan, V., Li, Z., Wang, X., & Zhang, H. (2017). Heterologous biosynthesis of natural product naringenin by co-culture engineering. *Synthetic and systems biotechnology*, 2(3), 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2017.08.0037>
10. Bader, J., Mast-Gerlach, E., Popović, M. K., Bajpai, R., & Stahl, U. (2010). Relevance of microbial co-culture fermentations in biotechnology. *Journal of applied microbiology*, 109(2), 371-387.
11. Detain, J., Rémond, C., Rodrigues, C. M., Harakat, D., & Besaury, L. (2022). Co-elicitation of lignocellulolytic enzymatic activities and metabolites production in an *Aspergillus-Streptomyces* co-culture during lignocellulose fractionation. *Current research in microbial sciences*, 3, 100108. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100108>
12. Stefanović, S., Dragišić-Maksimović, J., Maksimović, V., Bartolić, D., Đikanović, D., Simonović-Radosavljević, J., ... & Marjanović, Ž. (2023). Functional differentiation of two autochthonous cohabiting strains of *Pleurotus ostreatus* and *Cyclocybe aegerita* from Serbia in lignin compound degradation. *Botanica Serbica*, 47(1), 135-143. <https://doi.org/10.2298/BOTSERB2301135S>
13. Soares, J. K. C., Vitali, V. M. V., & Vallim, M. A. (2022). Lignin degradation by co-cultured fungi: current status and future perspectives. *Lilloa*, 39-62. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2022.59.S/2022.08.10>

14. Alber, S., Chauhan, D., Pandya, B., & Padhiar, A. (2011). Screening of *Trichoderma* Spp. As potential Fungal Partner in Co-Culturing with White Rot Fungi for Efficient Bio-Pulping.
15. Intasit, R., Cheirsilp, B., Suyotha, W., Boonsawang, P. (2021). Synergistic production of highly active enzymatic cocktails from lignocellulosic palm wastes by sequential solid state-submerged fermentation and co-cultivation of different filamentous fungi. *Biochemical Engineering Journal*. 173, 108086
16. Reyes-Calderón, A., Garcia-Luquillas, K. R., Ludeña, Y., Hernández-Macedo, M. L., Villena, G. K., & Samolski, I. (2020). A simple and accurate method for specific quantification of biomass in mixed cultures of filamentous fungi by quantitative PCR. *Revista peruana de biología*, 27(1), 085-090.
17. da Silva, Y. H., de Oliveira, T. B., Lima, M. S., Pasin, T. M., de Almeida Scarcella, A. S., de Moraes, M. D. L. T., ... & de Lucas, R. C. (2022). Co-Culture of *Trichoderma reesei*, *Talaromyces* sp. and *Aspergillus* spp. Produces A Multi-Enzyme Cocktail for the Hydrolysis of Sugarcane Bagasse Pretreated with Piperonic Acid (PIP) and Methylenedioxybenzoic Acid (MDCA).
18. Baldrian, P. (2004). Increase of laccase activity during interspecific interactions of white-rot fungi. *FEMS microbiology ecology*, 50(3), 245-253.
19. Dwivedi, P., Vivekanand, V., Pareek, N., Sharma, A., & Singh, R. P. (2011). Co-cultivation of mutant *Penicillium oxalicum* SAUE-3.510 and *Pleurotus ostreatus* for simultaneous biosynthesis of xylanase and laccase under solid-state fermentation. *New biotechnology*, 28(6), 616-626.



EVALUACIÓN BIOLÓGICA COMO UN INDICADOR DE LA CALIDAD DE VIDA SALUDABLE DEL ATLETA UNIVERSITARIO



Imagen ilustrativa / Propiedad del autor.

Blanca Rocío Rangel-Colmenero^{1*}

ORCID 0000-0001-5209-772X.

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Organización Deportiva.

*Correspondencia: blanca.rangelcl@uanl.edu.mx

En la actualidad, se sabe que la actividad física es indispensable para mantener la salud de nuestra población, sin embargo, esta misma puede ser un factor que induzca algunas problemáticas cuando se realiza para el alto rendimiento. Actualmente se propone a la evaluación de indicadores biológicos como respuesta a estas cargas de entrenamiento, para prevenir dichas condiciones negativas, o en caso de ser detectadas, poder abordar el entrenamiento en una condición de asimilación de las cargas.

Entrenamiento y salud

La participación en actividades deportivas está asociada con grandes beneficios a la salud, disminuyendo las enfermedades cardiovasculares, mayor longevidad y reducción del riesgo de diabetes (Khan et al., 2012; Lemez & Baker, 2015). Sin embargo, con la participación en el alto rendimiento deportivo se aumenta el riesgo de lesiones, susceptibilidad a enfermedades infecciosas, estrés psicológico y en casos extremos afectaciones cardiorrespiratorias agudas; ocasionando un déficit en la calidad de vida de la persona o incluso la inactividad física (Francavilla et al., 2020).



A lo largo del tiempo se ha reportado que el ejercicio de alta intensidad y las competencias deportivas tienen repercusiones directamente en la función inmunológica, al incidir directamente en la función reguladora del sistema neuroinmunoendócrino (Bachi et al., 2015). Se ha observado que tanto la inmunidad innata como la adquirida se ven influenciadas transitoriamente después de un entrenamiento exhaustivo, así como posterior a competencias deportivas; reduciendo su función, periodo el cual es conocido como “ventana abierta”, llevando al individuo a un estado vulnerable para la adquisición de enfermedades de tipo infecciosas, ocasionando disminución del rendimiento deportivo por el periodo de convalecencia (Walsh, 2018).

En algunos estudios se ha observado la incidencia de enfermedades del tracto respiratorio en participantes de deportes de equipo o individuales, tras las competencias o entrenamientos extenuantes, al suceder una combinación de factores estresantes tanto físicos como psicológicos, que al ocasionar la disminuir la inmunidad, son susceptibles a las enfermedades y por ende la disminución del rendimiento físico; esto se puede medir mediante indicadores inflamatorios como las inmunoglobulinas (Keaney et al., 2018; Momesso Santos et al., 2022). Con la incidencia de enfermedades, aunado a la condición de estrés físico y psicológico, y en algunas ocasiones quizá los viajes conti-

nuos y alimentación poco balanceada; se pueden distinguir todos ellos como factores que pueden influir directamente sobre la inmunidad de nuestros atletas representativos universitarios.

La calidad de vida puede ser apoyada mediante el monitoreo de indicadores biológicos, que permitan ir evaluando el efecto de la carga externa aplicada en los sujetos que son entrenados cotidianamente, los cuales pueden ser desde marcadores hematológicos, cuantificación de subpoblaciones celulares, hasta concentraciones de citocinas e inmunoglobulinas.

Entrenamiento y el sistema inmune



En un estudio previo publicado en el 2016, llevado a cabo en nuestra dependencia, se evaluó el efecto de la carga externa sobre la respuesta inmune, en triatlonistas amateur, en donde se observó como posterior a una competencia, los sujetos presentaron un incremento en leucocitos y específicamente neutrófilos y monocitos, a diferencia de los linfocitos y basófilos, los cuales disminuyeron (Hernández et al., 2016). Resultados similares se observaron en otra de nuestras publicaciones realizada en el 2014, en donde se evaluó a una triatlonista durante la competencia y posterior a esta dentro del proceso de recuperación, en donde se logró encontrar como las células del sistema inmune se comportaron de la forma antes señalada, además que se evaluó el efecto de la carga externa sobre el daño muscular, el cual se monitoreó mediante la cuantificación de la creatinina, que su respuesta fue de aumentar inmediatamente al término de la competencia, sin embargo, continuó aumentando a lo largo del proceso de recuperación de 72 horas con el pico más alto, mostrando su recuperación a la semana posterior a la competencia (Perez et al., 2014).

Entrenamiento y antioxidantes

Para disminuir estos efectos negativos ocasionados por la realización de actividad física, se planteó dentro del grupo de trabajo de nuestra facultad, estudiar métodos alternos que sirvan como protección o prevención, por lo que se optó por implementar la complementación de productos naturales como lo es la zarzamora, un fruto rico en antioxidantes que puede disminuir el efecto del estrés oxidativo presente en jugadores de handball del equipo representativo de la UANL. Durante este estudio se observó una tendencia a disminuir el daño muscular en el grupo que consumió zarzamora, en comparación con los que no la consumieron, sin embargo, es necesario seguir con más estudios para demostrar este efecto benéfico gracias al consumo de antioxidantes provenientes de los frutos rojos (García-Dávila et al., 2017).

Entrenamiento y variabilidad de la frecuencia cardiaca

Desde el punto de vista fisiológico, la salud de nuestros atletas universitarios, puede estar monitoreada mediante su respuesta del sistema nervioso autónomo (SNA), con su reflejo simpático y parasimpático, el cual actualmente dentro de nuestro grupo de trabajo se ha trabajado intensamente para demostrar su relación con variables biológicas y psicológicas, en donde por mencionar alguno de los resultados, nos podemos referir al trabajo realizado en el 2018 en el cual se analizó el comportamiento del sistema simpático por el “stress score” (SS) y del sistema parasimpático a través de la variable MRSSD, las cuales forman parte de una herramienta ampliamente utilizada en la actualidad denominada Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca, ya que los avances en diversas aplicaciones permiten o están al alcance de la población por su bajo costo y acceso tecnológico. Con los resultados obtenidos por el estudio colaborativo del 2018 (Miranda et al., 2018), se apoya el uso de la VFC como una herramienta válida que mide el comportamiento del SNA es decir cuando los atletas presentan una carga de trabajo elevada, ya sea por el entrenamiento o las competencias deportivas, el SS se mantendrá elevado, por el contrario cuando los atletas tienen una adecuada asimilación de la carga de entrenamiento, favoreciendo la recuperación, la RMSSD se mantendrá con valores elevados. Este comportamiento también fue monitoreado con otras variables que miden el estrés como es el cortisol y el daño muscular a través de la creatin kinasa como indicador de la intensidad de carga de entrenamiento.



Imagen ilustrativa / Propiedad del autor.

Entrenamiento y estrés oxidativo

Durante el estudio anterior, también se le dio seguimiento al monitoreo del estrés oxidativo durante estas mismas etapas en la triatlonista. El monitoreo del control biológico de forma general busca detectar si el proceso de equilibrio del sistema neuroinmunoendocrino, mediante la detección de factores que lo puedan afectar, uno de estos es el aumento de la concentración de radicales libres que como consecuencia pueda afectar directamente la respuesta del sistema inmune (Stanković & Radovanović, 2012). Durante el estudio de Pérez et al. (2014), se observó que el estrés oxidativo aumentó dentro de las 2 horas posterior a la competencia, y se mantuvo elevado hasta las 48 horas posteriores, reforzando esa teoría de susceptibilidad pasajera.



Imagen ilustrativa / Propiedad del autor.



Imagen ilustrativa / Propiedad del autor.

Nuevas propuestas de marcadores biológicos

Otro aspecto importante dentro de la evaluación biológica de los atletas, es innovar en la búsqueda de nuevos indicadores de la condición física, una nueva propuesta es la evaluación del comportamiento de las colinesterasas (ChE) como neurotransmisores que pueden estar implicados en la fatiga tras una actividad de alto rendimiento, al ser enzimas para la hidrólisis de la acetilcolina (ACh) que encontramos principalmente en el corazón, cerebro y músculo esquelético, específicamente en la sinapsis neuronal y neuromuscular. En un estudio realizado en voleibolistas de selección, se observó que el comportamiento de las ChE después del ejercicio tiene un cambio significativo al compararlo con otros indicadores de carga interna ya estudiados, por lo que se puede decir que este indicador se puede utilizar como un nuevo indicador de fatiga y se seguirá estudiando para reforzar estos resultados (Rangel-Colmenero et al. 2020).

En la actualidad, se está trabajando con nuevas propuestas de indicadores de carga interna, así como nuevas formas de evaluación no invasivas, en donde se propone al sudor corporal, como una fuente de fácil acceso, haciendo que este método de estudio sea más accesible para nuestros atletas, permitiendo su monitoreo constante al momento de la realización de la actividad física. Estos proyectos están en proceso, esperando sean exitosos al cierre de los mismos.

Conclusión

En conclusión, podemos mencionar que la evaluación biológica es indispensable para dar seguimiento de la salud de nuestros atletas, y así poder prevenir o modular el entrenamiento, evitando con esto el sobreentrenamiento, la incidencia de lesiones, enfermedades infecciosas o disminución del rendimiento deportivo, por lo que se convierte en una herramienta útil para mejorar la calidad de vida y salud.

Referencias

1. Bachi A.L.L., Rios F.J.O., Vaisberg P.H.C., Martins M., Cavalcante de Sá M., Victorino A.B., Foster R., Sierra A.P.R., Dal Molin Kiss M.A.P., Vaisberg M. (2015). Neuro-Immuno-Endocrine Modulation in Marathon Runners. *Neuroimmunomodulation* 22:196-202
2. Hernández-Cruz, G., Naranjo, J., Rosas, A. & Rangel, B. (2016). Leukocyte populations are associated with heart rate variability after a triathlon. *Journal of Human Kinetics*, 54(1), 55-63.
3. Pérez, D., Rangel, B., Hernández, G., Aguirre, H. y Chávez, E. (2014). Control biológico en la fase de competencia y recuperación en un triatleta. *Ciencias Naturales y Exactas, Handbook* -©ECORFAN. ISSN 2007-1582
4. Francavilla, V.C., Polito, R., Messina, G., Parisi, M.C., Mingrino, O.G.M., Campanozzi, A., Daniele, A., Messina, A., Monda, V., & Valenzano, A. (2020). Immune system and physical activity. *Journal of Human Sport and Exercise*, 15(4proc), S1534-S1543. doi:<https://doi.org/10.14198/jhse.2020.15.Proc4.49>
5. HERNÁNDEZ-CRUZ, G., QUEZADA-CHACÓN, J., RANGEL-COLMENERO, B. y LÓPEZ-GARCÍA, R. (2015). Dinámicas de la variabilidad de la frecuencia cardiaca durante diferentes momentos de recuperación de la fatiga después de ejercicios de tipo anaeróbico y aeróbico. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 2 (2) 336-344
6. Keaney LC, Kilding AE, Merien F, Dulson DK. (2018). The impact of sport related stressors on immunity and illness risk in team-sport athletes. *J Sci Med Sport*. Dec;21(12):1192-1199. doi: 10.1016/j.jsams.2018.05.014. Epub 2018 Jun 20. PMID: 29934212.



7. Khan, K., Thompson, A. M., Blair, S. N., Sallis, J. F., Powell, K. E., Bull, F., Bauman, A. (2012). Sport and exercise as contributors to the health of nations. *The Lancet*, 380, 59-64.
8. Miranda-Mendoza, J.; Reynoso-Sánchez, L.F.; Hoyos-Flores, J.R.; Quezada-Chacón, J.T.; Naranjo, J.; Rangel-Colmenero, B. y Hernández-Cruz, G. (2019). Stress Score and LnrMSSD as Internal Load Parameters During Competition. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. (*) pp. *. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/____](http://cdeporte.rediris.es/revista/____)*
9. Momesso Santos CM, Amaral JB, Rossi M, Viera RP, Abad CCC, Bachi ALL. (2022). Metabolic and immune/inflammatory alterations induced by a triathlon under extreme conditions. *Front Sports Act Living*, 17;4:915343. doi: 10.3389/fspor.2022.915343. PMID: 36060625; PMCID: PMC9429993.
10. Myriam García-Dávila, Guadalupe Gutiérrez-Soto, Sylvia Adriana Estrada-Díaz, Blanca Edelia González-Martínez, Elisabet Rodríguez-Bies, Blanca Roció Rangel-Colmenero. (2017). Protección antioxidante de zarzamora para disminuir daño muscular en atletas de elite. *Revista de Psicología del Deporte*, 26 (2), pp. 157-163
11. Neil P. Walsh (2018) Recommendations to maintain immune health in athletes, *European Journal of Sport Science*, 18:6, 820-831, DOI: 10.1080/17461391.2018.1449895
12. Rangel-Colmenero, B., Hoyos-Flores, J. R., Hernández-Cruz, G., Miranda-Mendoza, J., González-Fimbres, R. A., Reynoso-Sánchez, L. F., & Naranjo-Orellana, J. (2022). Behaviour of cholinesterases after fatigue conditions in endurance runners. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 22(85).
13. Lemez, S. & Baker, J. (2015). Do Elite Athletes Live Longer? A Systematic Review of Mortality and Longevity in Elite Athletes. *Lemez and Baker Sports Medicine - Open* 1:16 DOI 10.1186/s40798-015-0024-x
14. Stanković, M., & Radovanović, D. (2012). Oxidative stress and physical activity. *SportLogia*, 8(1),1–11. Retrieved from <http://www.sportlogia.com/no5engl/eng1.pdf>

EL CÁÑAMO (*CANNABIS SATIVA* L.):

LA PLANTA DE LOS MIL Y UN USOS Y SU APROVECHAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL

Imagen ilustrativa .

Kevin A. Cárdenas Noriega¹, Diana Ginette Zarate Triviño², Moisés A Franco Molina², Uziel Castillo Velázquez^{1*}

1. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nuevo León, Campus de Ciencias Agropecuarias, C.P. 66054, General Mariano Escobedo, Nuevo León, México;
2. Facultad de Ciencias Biológicas Av. Universidad S/N, Ciudad Universitaria San Nicolás de los Garza, N. L., C.P. 66450

* *Correspondencia/Correspondence:* uziel.castillovl@uanl.edu.mx (U.C.-V.)

Resumen

C*annabis sativa* L., conocido como cáñamo, ha sido un cultivo fundamental a lo largo de la historia humana, apreciado por su versatilidad en la producción de fibras, semillas y aceites. Su relevancia se ha intensificado en la actualidad, impulsada por la necesidad de alternativas sostenibles en la alimentación animal y la producción de bioproductos. Este trabajo examina la composición nutricional del cáñamo y su potencial como fuente de proteína y grasa en dietas para animales, especialmente en un contexto donde el aumento de la demanda de productos animales y el incremento en los costos de ingredientes tradicionales representan desafíos significativos. Se analizan los beneficios de incluir semillas y harina de cáñamo en la alimentación de rumiantes y no rumiantes, destacando su capacidad para mejorar la calidad de la carne, la leche y los huevos, así como su contribución a la sostenibilidad ambiental. A pesar de la necesidad de más investigación sobre sus efectos y la regulación del contenido de cannabinoides, el cáñamo presenta un futuro prometedor en la industria alimentaria y ganadera.

Palabras clave: cáñamo, mariguana, *Cannabis sativa* L., producción animal.

Abstract

C*annabis sativa* L., known as hemp, has been a fundamental crop throughout human history, valued for its versatility in producing fibers, seeds, and oils. Its relevance has intensified in recent times, driven by the need for sustainable alternatives in animal feed and the production of bioproducts. This paper examines the nutritional composition of hemp and its potential as a source of protein and fat in animal diets, especially in a context where the increasing demand for animal products and rising costs of traditional ingredients pose significant challenges. The benefits of incorporating hemp seeds and hemp seed meal into the diets of ruminants and non-ruminants are analyzed, highlighting their ability to enhance the quality of meat, milk, and eggs and contribute to environmental sustainability. Despite the need for further research on their effects and the regulation of cannabinoid content, hemp presents a promising future in the food and livestock industries.

Keywords: hemp, marihuana, *Cannabis sativa* L., animal production.

Introducción

La planta de *Cannabis sativa* L., comúnmente conocida como cáñamo, ha sido cultivada por el ser humano durante milenios debido a su versatilidad y amplia gama de aplicaciones. Desde sus orígenes en Asia, donde se utilizaba principalmente por sus fibras y semillas, hasta su popularidad actual en la producción de productos industriales y alimentarios, el cáñamo ha demostrado ser una especie invaluable (Bailoni et al., 2021; Muedi et al., 2024). A diferencia de su pariente, la mariguana, el cáñamo se caracteriza por tener niveles bajos de tetrahidrocannabinol (THC), lo que lo convierte en un recurso prometedor en la alimentación animal y en la producción de bioproductos (Klir et al., 2019). En este contexto, es fundamental explorar su potencial en la nutrición animal, donde la búsqueda de alternativas sostenibles a las fuentes tradicionales de proteína se vuelve cada vez más urgente debido a preocupaciones ambientales y económicas (Taşkesen & Tüfekci, 2024).

La planta

La planta de *Cannabis sativa* L., es una especie cosmopolita distribuida por todo el mundo. Este nombre común abarca diversas variedades de la planta (Klir, Novoselec and Antunović, 2019). *Cannabis sativa* es una planta floreciente herbácea de ciclo anual perteneciente a la familia *Cannabaceae* (Tabla 1), al igual que el lúpulo (*Humulus lupulus*) (Farag and Kayser, 2017). Inicialmente se cultivaba por sus fibras; con el tiempo, la producción de semillas y subproductos, como aceite, harina de semilla y gabazo, se convirtió en parte importante de su cultivo (Muedi et al., 2024). Se han documentado hasta 50,000 usos de esta planta, que van desde productos industriales (como cuerda, papel, material de construcción, autopartes y vestimenta), hasta productos de cuidado corporal, nutricionales (proteína y aceite) y medicinales (cannabidiol) (Shariatmadari, 2023). El cáñamo, conocido en inglés como ‘*hemp*’, es naturalmente dioico y se poliniza por el viento gracias la producción de granos de polen de las plantas macho. Esta planta bien a diversas condiciones climáticas, proporcionando alto rendimiento productivo (Muedi et al., 2024). Sus ventajas productivas son notables, ya que presenta un crecimiento rápido, resistencia natural a pestes y enfermedades, y requiere significativamente menos agua que cultivos como el algodón para producir la misma cantidad de tela (Shariatmadari, 2023).

Reino:	Plantae (plantas)
Subreino:	Tracheobionta (plantas vasculares)
Superdivisión:	Spermatophyta (plantas de semilla)
División:	Magnoliophyta (plantas florecientes)
Clase:	Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Subclase:	Hamamelididae
Orden:	Urticales
Familia:	Cannabaceae
Género:	<i>Cannabis</i>
Especie:	<i>sativa</i>
Abreviación de autoridad taxonómica:	L.

Tabla 1. Taxonomía de *Cannabis sativa*. Traducido de (ElSohly *et al.*, 2017)



Imagen ilustrativa .

El cáñamo

La planta de cannabis (Figura 1) es conocida por su capacidad para soportar y adaptarse a condiciones climáticas adversas, y es altamente disponible en el mundo.

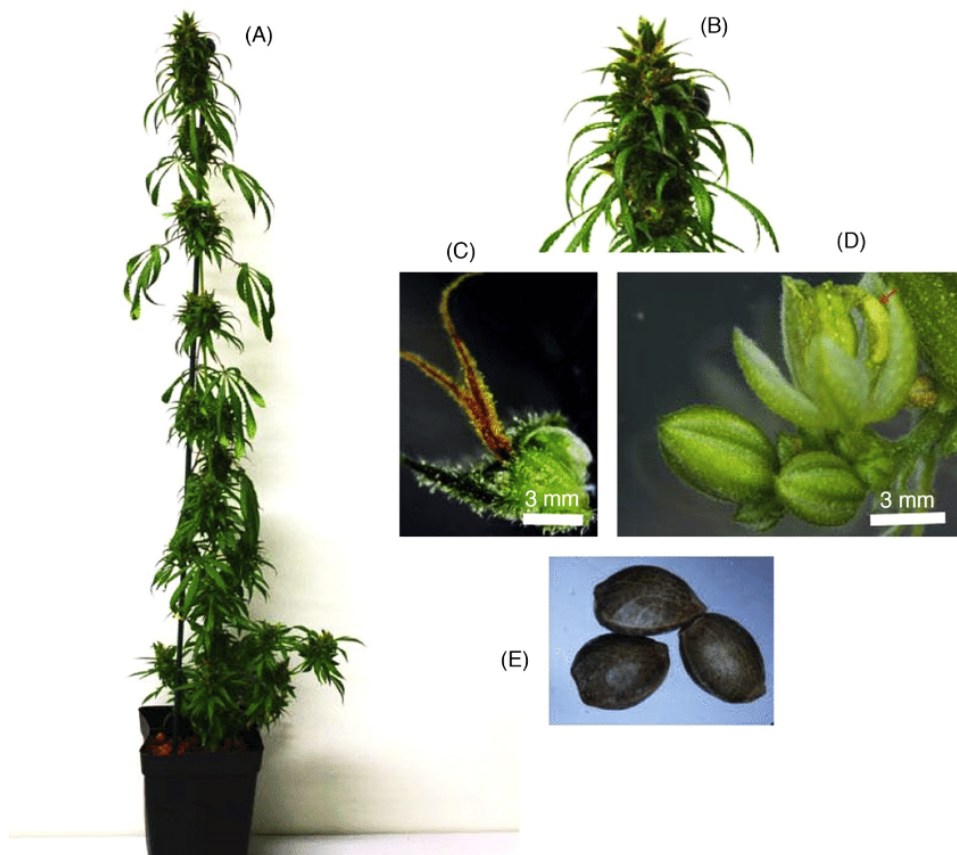


Figura 1. La planta de cannabis: aspectos botánicos.

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

Se ha reportado la presencia de metabolitos primarios y secundarios en diversas partes de la planta como en semillas, hojas, tallos, raíces y flores. Estos pueden ser aprovechados tanto en la alimentación como con fines farmacológicos, mejorando el rendimiento en productividad, salud y reproducción animal. Su contenido de fitoquímicos, como fitocannabinoides, terpenoides, flavonoides, terpenos, polifenoles y esteroides, la convierten en una hierba medicinal muy completa. Casi todas las partes del cáñamo industrial tienen múltiples usos. Sus tallos contienen fibra, sus semillas contienen nutrientes y sus flores producen aceite (Taşkesen and Tüfekci, 2024).

Además, el aceite extraído de sus semillas es rico en ácidos grasos poliinsaturados (AGPIs), esenciales para la nutrición animal, y es una fuente rica en vitaminas liposolubles y energía concentrada (Muedi *et al.*, 2024). El cáñamo se distingue morfológicamente de la marihuana por su tallo principal y largo con pocas ramificaciones. Además, se diferencia por tener bajas concentraciones de tetrahidrocannabinol (THC), generalmente menores al 1% (Muedi *et al.*, 2024), siendo éste el principal compuesto psicoactivo de la planta (Fallahi, Bobak and Opaliński, 2022). En Europa el contenido de THC se limita a 0.2% y aquellas plantas cultivadas para alimentación deben tener menos de 0.2% de THC por peso. El cáñamo es una planta productora de fibras y semillas ricas en aceite y utilizada desde hace milenios para la producción de alimentos, aceites y para propósitos terapéuticos (Klir, Novoselec and Antunović, 2019).

El perfil nutricional de sus semillas es relevante por su contenido de una variedad de ácidos grasos y proteínas. Su capacidad de adaptación a una amplia variedad de climas y ambientes es una característica importante. Es capaz de adaptarse a una amplia gama de climas y ambientes.

Los principales países productores de cáñamo son Francia, China, Rusia, Chile, Rumania, Ucrania, Hungría y Países Bajos. Otros productores incluyen a Austria, Italia, República Checa, Irán, Polonia, España, Paquistán, Turquía, Corea del Sur y Japón. En América del Norte, Canadá es el principal productor y en Sud América es Chile. Finalmente, el cáñamo industrial podría servir como un sustituto de fuentes proteicas en la alimentación animal, especialmente dado que las fuentes tradicionales, como el pescado, pastel de canola y de soya, estando siendo cuestionadas por su sostenibilidad (Taşkesen and Tüfekci, 2024).

Productos del cáñamo

Los productos más importantes del cáñamo son la semilla completa, la semilla pelada, la pasta de semilla, fibra y aceite (Shariatmadari, 2023) (Figura 2). Los tallos pueden procesarse en cuerdas e hilos. La capa más interna se puede utilizar para producir combustible, materiales de construcción y cama para animales; mientras que la capa más externa se remueve y procesa en subproductos como cuerdas, papel y alfombras. Los tallos son ricos en celulosa y proporcionan nutrientes importantes para los animales como carbohidratos, agua, minerales y trazas de calcio, sodio y potasio. Sin embargo, su uso en la alimentación está menos documentado, posiblemente debido a su bajo contenido de proteína y alta cantidad de fibra y lignina, lo que requiere procesamiento antes del consumo (Muedi *et al.*, 2024). La composición química de los subproductos de cannabis varía según de factores como la variedad de la planta, los métodos de extracción y el procesamiento de las semillas. Sin embargo, se asemeja a la de la harina de soya, a diferencia de las cáscaras, que cuentan con menores cantidades de proteína cruda y extracto etéreo (Taşkesen and Tüfekci, 2024).



Figura 2. Semilla completa (a) semilla pelada (b) y harina de semilla (c). Obtenido de (Yano and Fu, 2023).

La semilla completa se puede utilizar en la alimentación animal o procesarse en pasta o harina. El aceite de semilla constituye de un 30-35% del total de la semilla, al remanente del proceso de extracción por compresión en frío se le conoce como harina de semilla de cáñamo (Taşkesen and Tüfekci, 2024). El aceite es buena fuente de provitamina A liposoluble y vitamina E, que contribuyen positivamente al crecimiento humano y animal, así como a la producción de carne y leche, metabolismo y desarrollo (Muedi et al., 2024). Éste contiene hasta 80% ácidos grasos poliinsaturados (AGPIs) con predominante contenido de ácido linoleico (LA, C18:2 n-6) y ácido α -linoleico (ALA, C18:3 n-3) en un 60% y 19%, respectivamente (Klir, Novoselec and Antunović, 2019). Una vez extraída la parte oleosa, la harina de semilla de cáñamo se puede utilizar como una fuente de proteína óptima. Diversos estudios indican que el valor promedio de proteína cruda ronda el 34.3% en base seca, mientras que el porcentaje de aceite residual en la harina es de un 11-7 a 12.5% en base seca (Bailoni et al., 2021). La proteína de semilla de cáñamo está libre de inhibidores de tripsina ni oligosacáridos que se pueden encontrar en los granos de soya (Bailoni et al., 2021). La semilla completa presenta un contenido aproximado de $24 \pm 2.1\%$ proteína cruda, $30.4 \pm 2.7\%$ de grasa cruda, $32.1 \pm 2.5\%$ de fibra dietaria, $4.8 \pm 0.7\%$ de ceniza y $94.1 \pm 2.0\%$ de materia seca. Además, su perfil proteico es rico en arginina, ácido glutámico y aminoácidos con alto contenido de azufre. Al procesarse la semilla en harina, el contenido de proteína aumenta hasta 40.7%, mientras que la fibra cruda alcanza un 30.5%. Algunas especies de semilla de cáñamo son también ricas en minerales como calcio (144-955 mg), magnesio (237-694 mg), potasio (463-2821 mg), hierro (1133-2400 mg), manganeso (63-110 mg) y zinc (42-94 mg) (Muedi et al., 2024). Las partes comestibles de la planta han sido objeto de investigación para su uso como alimento en alimentación animal.

Cañamo y producción animal

El aumento global en el consumo de productos animales puede tener consecuencias negativas en el medio ambiente. Los rumiantes, por ejemplo, son animales con una capacidad de convertir alimentos no comestibles para el ser humano como forrajes, residuos de cosecha y subproductos agrícolas, en alimentos de alto valor nutricional (Bailoni et al., 2021). En términos generales, la producción animal permite convertir alimentos no aptos o no deseados para consumo humano en fuentes

proteínas comestibles. Este enfoque puede mitigar el impacto ambiental al transformar alimentos de oportunidad de bajo costo como subproductos, desperdicios y recursos del pastoreo en proteína para consumo humano (Taşkesen and Tüfekci, 2024). Para lograr una producción animal óptima requiere de una apropiada producción, salud y reproducción animal, lo cual se puede obtener a través de una alimentación apropiada (Muedi et al., 2024).

Los alimentos proteicos constituyen la mayoría de los componentes utilizados en la dieta animal. Sin embargo, las fuentes de proteína animal son limitadas, lo que hace que las fuentes vegetales sean esenciales la nutrición animal (Taşkesen and Tüfekci, 2024). Factores como los altos costos de ingredientes y el cambio climático han llevado a un creciente interés en la investigación por parte de compañías de alimentos entorno a materiales alimentarios generales y subproductos con valor nutricional como posibles alternativas suplementarias, debido a la falta de ingredientes proteicos y energéticos primarios, así como de metabolitos sintéticos (Muedi et al., 2024). Algunas plantas han captado interés para su explotación agrícola debido a características importantes como su resistencia a condiciones adversas, su papel en fitorremediación y revitalización del suelo y sus requerimientos nutricionales bajos cuando se les compara con fuentes de energía y proteína tradicionales en la alimentación de rumiantes (Bailoni et al., 2021). El aumento del precio del grano de soya ha impulsado la búsqueda de alternativas como las semillas y harinas de semillas de cáñamo en pequeñas especies, así como el uso de la planta completa en rumiantes. El aceite de semilla de cáñamo se ha utilizado en mezclas dietéticas como suplemento rico en ácidos grasos esenciales y las semillas y harina de semillas sirven como una fuente de grasa y proteína (Klir, Novoselec and Antunović, 2019).

En nutrición de rumiantes lecheros, las semillas y derivados (aceite, harina y pasta) pueden emplearse como suplementos alimenticios principalmente por su contenido de ácidos grasos esenciales y aminoácidos esenciales. En vacas no lactantes con fistula ruminal se determinó que la pasta de cáñamo es una excelente fuente de proteína no degradable en rumen equivalente a la canola tratada con calor pero mayor a la de la pasta de borraja y canola (Bailoni et al., 2021). Además, los cannabinoides, terpenos y flavonoides abundantes en la planta de cáñamo tienen aplicaciones potenciales como tratamientos terapéuticos o como biopesticidas anti insectos u hongos, constituyendo metabolitos de alto valor que se obtienen de la planta (Muedi et al., 2024).

Cañamo y producción animal

La evidencia sugiere que la suplementación de las dietas con cáñamo puede mejorar la composición de la carne, la leche y los huevos, además de ser una fuente beneficiosa de proteína, grasa y fibra (Taşkesen and Tüfekci, 2024). Las semillas y la harina de semilla de cáñamo constituyen una buena fuente de proteína cruda y grasa, sin presentar cambios significativos en caracteres productivos, y aumentando los ácidos grasos en productos de origen animal. De manera similar, el aceite semilla se puede utilizar como suplemento en mezclas alimenticias como una buena fuente de ácidos grasos esenciales, especialmente enriqueciendo los productos animales con ácidos grasos PUFA n-3 y n-6 (Klir, Novoselec and Antunović, 2019).

En aves, la inclusión de harina de cáñamo en la dieta provee resultados interesantes. En aves de postura, se observó un aumento de la ganancia de peso, la ingesta de alimento y la relación de conversión alimenticia a diferentes niveles de inclusión (0%, 5%, 10% y 20%). Con la inclusión del 20%, las gallinas lograron una ganancia de peso de 2087.2 ± 10.25 g, asociado a una relación de conversión alimenticia más favorable, ya que consumieron menos alimento que las gallinas alimentadas con la dieta control. Sin embargo, a un 5% de inclusión, se registró un mayor consumo de alimento (4506.4 ± 6.3 g) en comparación con las dietas con mayor inclusión de cáñamo (Muedi *et al.*, 2024). Además, se ha reportado que el contenido de ácidos grasos n-3 mejora la calidad de la carne en aves. En patos, se documentó el aumento en los ácidos grasos poliinsaturados n-3 y n6



en la pechuga y muslos. Con un 5 y 15% de inclusión de harina de semilla de cáñamo, se reportó un cambio en olor y color (Muedi *et al.*, 2024). La harina de semilla de cáñamo también ha demostrado mejorar la producción y calidad de leche gracias a su contenido nutricional. Algunos autores informan que la adición de 6.4% (en base seca) de maíz y grano de soya, junto con la semilla de cáñamo en dietas isonitrogenadas, puede aumentar la disponibilidad de hierro en cabras lactantes alpinas (Bailoni *et al.*, 2021). No obstante, es importante monitorear el contenido de cannabinoides que, aunque pueden tener propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, podrían alterar el comportamiento de los animales y, en algunos casos, ser excretados en productos destinados al consumo humano. Además, la presencia de cannabinoides puede afectar negativamente aspectos reproductivos de los animales como la espermatogénesis, producción de hormonas, morfología espermática y el lívido. En un estudio, un alto contenido en la concentración de cannabinoides en la dieta de ganado de leche resultó en vacas cansadas e inestables, y se encontraron restos de THC en la leche, elemento no deseado debido a sus efectos secundarios. Por otra parte, con un nivel de inclusión de 143 g/kg aumentó la eficiencia productiva de la leche en ganado lechero y en cabras lecheras la inclusión mejoró el contenido graso, el perfil de ácidos grasos poliinsaturados, de antioxidantes lipofílicos y la capacidad antioxidante total de la leche (Muedi *et al.*, 2024).

Sin embargo, se ha identificado la presencia de anti-nutrientes que pueden reducir la absorción de proteínas y micronutrientes. Particularmente la presencia de fitatos, como inositol hexafosfato, puede ser mayor al 5%, ocasionando una disminución en la absorción de minerales y vitaminas. Algunos autores sugieren la suplementación adicional de microelementos (Bailoni *et al.*, 2021). En contraste, en ovejas alimentadas con semillas o harina de semillas de cáñamo, la leche mostró estabilidad oxidativa asociada a una alta concentración de α -tocoferol en la leche y alta capacidad antioxidante. En un estudio realizado en vacas lecheras alimentadas con ensilaje (494 g/kg MS) y mezclas de concentrado (506 g/kg MS) con diferentes proporciones de harina de semilla de cáñamo (HSC) en 0, 143, 233 y 318 g/kg MS. la eficiencia productiva fue mayor cuando con 143 g/kg MS en comparación con los controles y los animales alimentados con el nivel más alto de HSC. Por su parte, la eficiencia en la conversión de proteína cruda dietaria a proteína de leche disminuyó con cada nivel adicional de inclusión. Finalmente, la inclusión de 233 y 318 g/kg MS de HSC no mostró beneficios en la eficiencia de leche (Klir, Novoselec and Antunović, 2019).

En no rumiantes, se incluyeron porcentajes del 10 y el 15% de HSC en dietas de gallinas de postura. En dicho estudio se concluyó que una proporción de hasta 10% de HSC no afectó negativamente la ingesta de alimento, intensidad de postura, peso del huevo ni la conversión alimenticia. Sin embargo, se ha reportado que la inclusión de niveles del 5, 10 y 15% de HSC rico en AGPIs resultó en un incremento lineal en las concentraciones de LA y ALA, con una disminución de ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGM). Las concentraciones de ALA fueron mayores en la yema de gallinas alimentadas con HSC a comparación de las alimentadas con semilla de canola, pero menor que en la yema de animales alimentados con semilla de lino (Klir, Novoselec and Antunović, 2019).

Conclusión

La planta de cáñamo comparte nombre taxonómico (*Cannabis sativa* L.) con la planta de marihuana, pero se distingue morfológica y químicamente de ésta, principalmente por su cuerpo que consta de un tallo robusto de donde se obtienen las fibras y por su baja producción de THC. El cáñamo es una planta versátil con un amplio espectro de aplicaciones en la alimentación animal, gracias a su rico perfil nutricional y a su capacidad de adaptación. A medida que las restricciones sobre su cultivo se hacen más permisivas, se abre un camino prometedor para explorar su potencial como fuente alternativa de proteínas y otros nutrientes esenciales. La investigación futura deberá enfocarse en optimizar los métodos de procesamiento y extracción, así como en evaluar los beneficios a largo plazo de incluir productos derivados del cáñamo en las dietas animales.

Declaración de ética

Los autores respaldan plenamente este trabajo y han contribuido de manera significativa que justifica su autoría. No existe conflicto de interés y se han seguido todos los procedimientos éticos y requisitos necesarios.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONACHYT) bajo el proyecto I1200/331/2023 y al PROGRAMA DE APOYO A LA CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN (ProACTI 2023) de la UANL bajo el proyecto 16-BQ-2023.

Referencias

1. Bailoni, L. *et al.* (2021) 'Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed and Co-Products Inclusion in Diets for Dairy Ruminants: A Review', *Animals*, 11(3), p. 856. Available at: <https://doi.org/10.3390/ani11030856>.
2. ElSohly, M.A. *et al.* (2017) 'Phytochemistry of *Cannabis sativa* L.', in *Phytocannabinoids: Unraveling the Complex Chemistry and Pharmacology of Cannabis sativa*. Springer. Cham: Progress in the Chemistry of Organic Natural Products, pp. 1–36. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45541-9_1.
3. Fallahi, S., Bobak, Ł. and Opaliński, S. (2022) 'Hemp in Animal Diets—Cannabidiol', *Animals*, 12(19), p. 2541. Available at: <https://doi.org/10.3390/ani12192541>.
4. Farag, S. and Kayser, O. (2017) 'The Cannabis Plant: Botanical Aspects', in A. Press (ed.) *Handbook of Cannabis and Related Pathologies: Biology, Pharmacology, Diagnosis, and Treatment*. London: Elsevier, pp. 3–12. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800756-3.00001-6>.
5. Klir, Ž., Novoselec, J. and Antunović, Z. (2019) 'An overview on the use of hemp (*Cannabis sativa* L.) in animal nutrition', *Poljoprivreda*, 25(2), pp. 52–61. Available at: <https://doi.org/10.18047/poljo.25.2.8>.
6. Muedi, H.T.H. *et al.* (2024) 'The use of industrial hemp (*Cannabis sativa*) on farm animal's productivity, health and reproductive performance: a review', *Animal Production Science*, 64(2). Available at: <https://doi.org/10.1071/AN23268>.
7. Shariatmadari, F. (2023) 'Emergence of hemp as feed for poultry', *World's Poultry Science Journal*, 79(4), pp. 769–782. Available at: <https://doi.org/10.1080/00439339.2023.2234871>.
8. Taşkesen, H.O. and Tüfekci, H. (2024) 'Possibilities of using hemp (*Cannabis sativa* L.) and its byproducts in sheep nutrition – A review', *Annals of Animal Science*, 0(0). Available at: <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0065>.
9. Yano, H. and Fu, W. (2023) 'Hemp: A Sustainable Plant with High Industrial Value in Food Processing', *Foods*, 12(3), p. 651. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods12030651>.



TRADESCANTIA SPATHACEA Y EPIGALOCATEQUINA; CIENCIA EN LA MEDICINA ANCESTRAL

Ángeles G. Lugo-Díaz^{1†}, Raymundo A. Pérez-Hernández^{1†}, Adolfo Soto-Domiguez³, Abelardo Chavez-Montes¹, Kibsain L. Franco Villanueva², Uziel Castillo-Velázquez^{2*}.

1. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Av. Universidad S/N, Ciudad Universitaria San Nicolás de los Garza, N. L., C.P. 66450

2. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UANL, Fco. Villa 20, Hacienda del Cañada, 66054. Escobedo, N.L., México.

3. Facultad de Medicina, UANL, Av. Dr. José Eleuterio González 235, Mitras Centro, 64460 Monterrey, N.L., México

[†] Equal contribution

*E-mail de autor responsable: uziel.castillovl@uanl.edu.mx

Resumen

Tradescantia spathacea, también llamada *Rhoeo discolor* o *Rhoeo spathacea* y comúnmente conocida como “Maguey morado”, es una planta silvestre nativa del sur de México y Centroamérica, con extensión en regiones de Asia e introducida a zonas húmedas de Norteamérica. Es conocida dentro de la medicina tradicional mexicana, particularmente en la cultura maya, por sus propiedades curativas contra infecciones, cuadros virales, enfermedades respiratorias y el cuidado de heridas en la piel. El maguey morado cuenta con principios bioactivos que son los responsables de estas propiedades, como lo es la epigalocatequina; un compuesto fenólico con capacidad antitumoral, antiinflamatoria y antioxidante que, además, puede actuar como un regulador en la homeostasis de la glucosa.

Aunque el conocimiento y estudio de esta planta es una línea de investigación en constante crecimiento, aún hay secretos de su uso tradicional que merecen la atención de la comunidad científica.

Palabras clave: *Tradescantia spathacea*; maguey morado; medicina tradicional; epigalocatequina.

Abstract

Tradescantia spathacea, also known as *Rhoeo discolor* and *Rhoeo spathacea* is a wild native plant of southern Mexico and Central America; currently, widespread in Asia and introduced to humid regions of North America. It is known within traditional Mexican medicine, particularly in Mayan culture, for its healing properties against infections, viral conditions, respiratory diseases and skin wound care. This plant contains bioactive principles responsible for these properties, such as “epigallocatechin,” a phenolic compound with anti-tumor, anti-inflammatory, and antioxidant activities. This compound can also function as a regulator in glucose homeostasis.

Although the study of this plant is a current (and growing) field of research, there are still secrets of its traditional use that deserve the scientific community's attention.

Keywords: *Tradescantia spathacea*; traditional medicine, epigallocatechin.

Introducción

Tradescantia spathacea, comúnmente conocida como “maguey morado”, es una planta perteneciente a la familia Commelinaceae y fue descrita por primera vez en 1788. Tiene una amplia presencia como planta nativa silvestre en zonas del sur de México (Chiapas, Tabasco y la península de Yucatán), Guatemala y Belice (Pulipaka, S., *et al.* 2022). La planta (Figura 1) cuenta con hojas elípticas de alrededor de 30 cm de largo, con tonos verdes y morados brillantes característicos. (Bose, A., & Paria, N. 2019)

Dentro de la medicina tradicional, la planta sigue siendo utilizada en infusiones para tratar afecciones respiratorias como la bronquitis, enfermedades virales, infecciosas y para sanar heridas de la piel. (Carrera Kurjenoja, J. C. 2022)

T. spathacea ha demostrado tener un rango amplio de efectos farmacológicos y propiedades biológicas; actividad antioxidante, anticáncer, antibacterial y antimicrobiana, además de poseer efecto inmunomodulador aumentando la proliferación de linfocitos. (Butnariu, M., *et al.* 2022)



Reino: Plantae
Filos: Tracheophyta
Clase: Liliopsida
Orden: Commelinales
Género: *Tradescantia*
Especie: *Tradescantia spathacea*

Figura 1. Taxonomía de *Tradescantia spathacea* (Departamento de Botánica, IBUNAM, 1997)

Dentro de las propiedades curativas que se han atribuido a la planta, se encuentran:

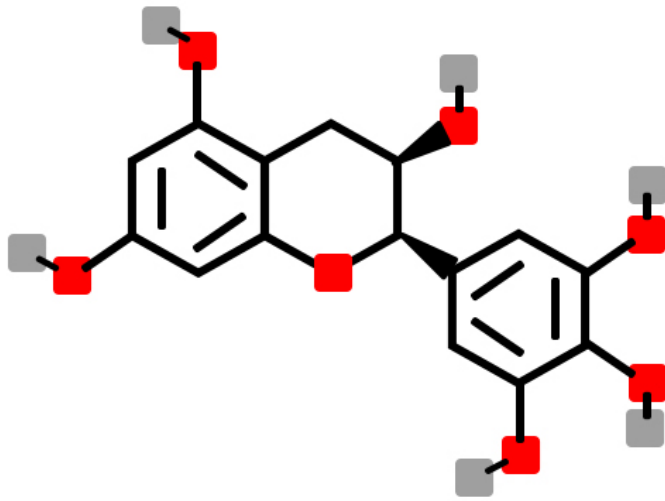
1. **Actividad antioxidante:** Las infusiones de *T. spathacea* han demostrado tener actividad antioxidante similar a otros tés herbales. (Tan JBL, *et al.* 2015)
2. **Anticáncer:** El extracto de la planta ha sido estudiado contra líneas de cáncer de mama (MCF-7) con un IC₅₀ = 299.7 µg/mL y de hepatocarcinoma, contra el cual redujo el tamaño de las lesiones pre-neoplásicas. (Prakash R, *et al.* 2014; Rosales-Reyes T, *et al.* 2007)
3. **Inmunomodulador:** Se ha reportado la actividad linfoproliferativa del extracto acuoso de *T. spathacea*. (Sriwanthana B, *et al.* 2007)
4. **Antibacterial/antimicrobiana:** El extracto etanólico de *T. spathacea* ha mostrado tener actividad antimicrobiana contra bacterias multirresistentes a antibióticos, así como a bacterias desnitrificantes del suelo. (Tan JBL, *et al.* 2016)
5. **Antiviral:** Los extractos metanólico y etanólico de la planta han sido estudiados como inhibidores del efecto citopático derivado de la infección por Chikungunya, en donde se obtuvo un porcentaje de viabilidad celular del 92%. (Chan, Y. S., *et al.* 2016)

Composición fitoquímica de *Tradescantia spathacea*

En los últimos años, se ha intensificado la búsqueda de compuestos bioactivos en plantas que puedan ser de interés para la industria farmacéutica, aprovechando también el potencial terapéutico que los ha mantenido vigentes en la medicina tradicional ya que estos compuestos son los responsables de sus efectos biológicos. (Drago Serrano, M. E., *et al.* 2006). Los estudios fitoquímicos realizados sobre *Tradescantia spathacea* definen como sus principales componentes a los alcaloides, cumarinas, saponinas, terpenos y flavonoides. (Sim, M. J. J. 2023)

En un análisis cuantitativo realizado por Lee Tan *et al.* (2016) se determinaron el contenido total de fenoles (TPC), contenido total de taninos (TTC) y contenido total de flavonoides (TFC), obteniendo valores de 203.9 ± 16.3 TPC (mg GAE/100 g muestra), 20.6 ± 2.3 TTC (mg TAE/100 g muestra) y 10.8 ± 2.9 TFC (mg RE/100 g muestra). Se han identificado diferentes compuestos fitoquímicos en la planta, como trades-

cantina, tradescantósido (Quoc Hung Vo *et al.* 2015); compuestos fenólicos como epigalocatequina, rhoeoina, rutina (Lee Tan *et al.* 2016) y metabolitos, como ácido ferúlico, ácido p-cumárico y ácido clorogénico.



Fórmula: C₁₅H₁₄O₇

Peso molecular: 306.27g/mol

IUPAC: (2R,3R)-2-(3,4,5-trihydroxyphenyl)-3,4-dihydro-2H-chromene-3,5,7-triol

PubChem CID: 72277

(Epigallocatechin | C₁₅H₁₄O₇ | CID 72277 - PubChem (nih.gov))

Figura 2. Estructura química de la epigalocatequina (obtenido del portal web <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>; revisado el día 27 de septiembre de 2024).

Compuesto fenólicos presentes en *Tradescantia spathacea*

Los compuestos fenólicos de las plantas medicinales son compuestos bioactivos con un alto potencial terapéutico en el tratamiento del estrés oxidativo y la inflamación. En *T. spathacea* se han caracterizado diversos compuestos fenólicos, como kaempferol, quercetina, rutina y rhoeoina; dentro de ese grupo, la gran variedad de propiedades biológicas y la cantidad de estudios realizados, hacen resaltar a la epigalocatequina (Figura 2). Éste es un compuesto químico que incluye la catequina con el residuo de galato en posición trans isomérica.

Las investigaciones realizadas sobre este compuesto revelan actividad antiproliferativa y proapoptótica en células PC-3 de cáncer de próstata humano, cáncer de páncreas y de mama, reduciendo el tamaño del tumor

y la metástasis (Costa, T. E., *et al.* 2020). Además, es un conocido antioxidante utilizado para la profilaxis o tratamiento de ciertas enfermedades en conjunto con la terapia convencional. (Ratnam, D. V., *et al.* 2006)

Otro de sus beneficios, es la atenuación de la inflamación microglial por inhibición del inflamosoma NLRP3 en la línea celular microglial BV2 murina. (Singh, N.A., *et al.* 2015)

Las propiedades de la epigalocatequina incluyen:

- 1- **Efecto antitumoral:** La epigalocatequina-3-galato reduce los niveles de proteínas dependientes de la chaperona HSP90, como lo son ErbB2, Raf-1, fosfo-AKT, pERK y Bcl-2, mismas que están asociadas al cáncer. Esta actividad ha sido base en el desarrollo de fármacos sintéticos que buscan estabilizar la molécula, logrando una mejor inhibición de la chaperona y, por ende, mayor eficacia antitumoral *in vitro*. (Costa, T. E., *et al.* 2020)
- 2- **Antiinflamatorio microglial:** La epigalocatequina-3-galato inhibe al inflamosoma NLRP3 tanto canónico como no canónico. Sin embargo, activa el inflamosoma en macrófagos, activando la liberación de citocinas proinflamatorias en un modelo murino de gota. (Singh, N.A., *et al.* 2015)
- 3- **Antioxidante:** Esta actividad se atribuye por su habilidad para quelar iones metálicos como hierro, cobre, cromo y cadmio. (Ratnam, D. V., *et al.* 2006)
- 4- **Regulador de la glucosa:** Este compuesto tiene la capacidad de regular la homeóstasis de la glucosa por medio de la reducción del radio SGLT-1/GLUT2 en intestino y la activación de GLUT4. (Legeay, S, *et al.* 2015)

En resumen, *Tradescantia spathacea* es una planta con amplio potencial dentro de la medicina tradicional gracias a la gran variedad de compuestos bioactivos responsables de sus propiedades curativas. A pesar de que, para su uso, la mayoría de ellos debe ser estabilizado primero, han sido una base en la creación de fármacos sintéticos que se pueden emplear en el tratamiento de enfermedades específicas.

No se puede pasar por alto que, aunque estos compuestos han sido estudiados previamente, es necesaria mayor evidencia científica para garantizar su seguridad y efectividad, por lo cual, su uso debe ser previamente consultado con un profesional de la salud.

Declaración de ética


Los autores respaldan plenamente este trabajo y han contribuido de manera significativa que justifica su autoría. No existe conflicto de interés y se han seguido todos los procedimientos éticos y requisitos necesarios.

Agradecimientos

Se agradece al Posgrado Conjunto Agronomía-Veterinaria de la UANL, por las facilidades brindadas para la realización del presente estudio.

Referencias

1. Bose, A., & Paria, N. (2019). Seedling Morphology of some selected members of Commelinaceae and its bearing in taxonomic studies. *Plant Science Today*, 6(2), 218-231.
2. Butnariu, M., Fernández Ochoa, Á., Segura Carretero, A., & Cádiz Gurra, M. D. L. L. (2022). A review on tradescantia: phytochemical constituents, biological activities and health-promoting effects.
3. Carrera Kurjenoja, J. C. (2022). Uso de "Tradescantia spathacea" y "Manilkara zapota" como medicinas tradicionales en México desde los Mayas hasta la actualidad y valoración de sus propiedades antimicrobianas (Doctoral dissertation, Universidad de Murcia).
4. Chan, Y. S., Khoo, K. S., & Sit, N. W. (2016). Investigation of twenty selected medicinal plants from Malaysia for anti-Chikungunya virus activity. *Int. Microbiol*, 19(3), 175-182.
5. Costa, T. E., Raghavendra, N. M., & Penido, C. (2020). Natural heat shock protein 90 inhibitors in cancer and inflammation. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 189, 112063.
6. Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBU-NAM), "Tradescantia spathacea" Sw., ejemplar de: Herbario Nacional de México (MEXU), Plantas Vasculares. En "Portal de Datos Abiertos UNAM" (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México
7. Drago Serrano, M. E., López López, M., & Sainz Espuñes, T. D. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(4), 58-68.
8. Legeay, S.; Rodier, M.; Fillon, L.; Faure, S.; Clere, N. Galato de epigallocatequina: una revisión de sus propiedades beneficiosas para prevenir el síndrome metabólico. *Nutrientes* 2015, 7, 5443-5468. <https://doi.org/10.3390/nu7075230>
9. Prakash R, Rajesh R. Aberrant expression of WNT/beta-catenin signaling pathway and In - vitro cytotoxic activity of Tradescantia spathacea medicinal plant used to treat human breast adenocarcinoma (MCF-7 cell lines). *International Journal of pharmaceutical sciences and Research*. 2014; 5: 5230–5234
10. Pulipaka, S., Suttee, A., Kumar, M. R., Shanker, K., Lobo, R., & Kasarla, R. (2022). In vitro Pharmacognostical, Phytochemical and Pharmacological evaluation of Tradescantia spathacea: An exploration. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 905-932.
11. Ratnam, D. V., Ankola, D. D., Bhardwaj, V., Sahana, D. K., & Kumar, M. R. (2006). Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of controlled release*, 113(3), 189-207.
12. Rosales-Reyes T, de la Garza M, Arias-Castro C, RodríguezMendiola M, Fattel-Fazenda S, Arce-Popoca E, et al. Aqueous crude extract of Rhoeo discolor, a Mexican medicinal plant, decreases the formation of liver preneoplastic foci in rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 2007; 115: 381–386.
13. Sim, M. J. J. (2023). *Phytochemical Study and Anti-Obesity Properties of the Leaves of Tradescantia Spathecea* (Doctoral dissertation, Tunku Abdul Rahman University of Management and Technology).
14. Singh, N.A., Mandal, A.K.A. & Khan, Z.A. Potential neuroprotective properties of epigallocatechin-3-gallate (EGCG). *Nutr J* 15, 60 (2015). <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0179-4>
15. Sriwanthana B, Treesangsri W, Boriboontrakul B, Niumsakul S, Chavalittumrong P. In vitro effects of Thai medicinal plants on human lymphocyte activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2007; 29: 1.
16. Tan JBL, Lim YY, Lee SM. Antioxidant and antibacterial activity of Rhoeo spathacea (Swartz) Stearn leaves. *Journal of Food Science and Technology*. 2015; 52: 2394–2400.
17. Tan JBL, Yap WJ, Tan SY, Lim YY, Lee SM. Antioxidant Content, Antioxidant Activity, and Antibacterial Activity of Five Plants from the Commelinaceae Family. *Antioxidants*. 2016; 3: 758–769.
18. Vo QH, Nguyen PH, Zhao BT, Ali MY, Choi JS, Min BS, et al. Protein tyrosine phosphatase 1B (PTP1B) inhibitory constituents from the aerial parts of Tradescantia spathacea Sw. *Fitoterapia*. 2015;103: 113–121



EL AGUA: PILAR FUNDAMENTAL PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL FUTURO

Guadalupe Gutiérrez-Soto¹, Iosvany López-Sandin¹, Hafiz M.N Iqbal¹, Lizeth Parra-Arroyo, Jenifer Parra-Arroyo, Roberto Parra^{1,*}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Laboratorio de Ciencias Naturales, Biomolecular Innovation Group, Francisco Villa s/n, Ex-Hacienda el Canadá, General Escobedo, N.L., México. ZP 66050.

Autor de correspondencia: roberto.parras@uanl.edu.mx

Resumen

A pesar de que el agua cubre gran parte del planeta, el agua dulce, la única apta para el consumo humano y uso agrícola, es un recurso limitado y cada vez más escaso. Este artículo examina cómo factores como el cambio climático, la contaminación y el crecimiento poblacional están exacerbando esta escasez, lo que tiene graves repercusiones para la calidad de vida, el desarrollo económico y el equilibrio ecológico. En particular, se analiza cómo el cambio climático altera los patrones de precipitación y reduce la disponibilidad de agua dulce en diversas regiones de América Latina, con un enfoque en la vulnerabilidad hídrica de países como México, Perú y Chile.

El artículo destaca la importancia de la conservación del agua, presentando diversas medidas prácticas para reducir el consumo en el hogar, como cerrar el grifo mientras se realiza el aseo personal, reparar fugas y utilizar tecnologías de riego eficientes en la agricultura. Además, se enfatiza la necesidad de promover la educación ambiental como una herramienta crucial para sensibilizar a las nuevas generaciones sobre la importancia de cuidar este recurso vital. Se reconoce el papel de iniciativas educativas en México y otros países de la región para fomentar una cultura de uso responsable del agua.

Finalmente, el artículo establece una conexión clara entre el cambio climático y la escasez de agua, argumentando que es esencial adoptar tanto acciones individuales como colectivas para mitigar los efectos del calentamiento global. Se subraya la necesidad urgente de implementar políticas públicas y soluciones innovadoras para garantizar la seguridad hídrica en el futuro. México, en particular, se destaca como un ejemplo de cómo las comunidades y gobiernos están trabajando para enfrentar este desafío a través de estrategias de conservación y gestión sostenible del agua.

Palabras clave: *escasez de agua, cambio climático, conservación, educación ambiental, sostenibilidad.*



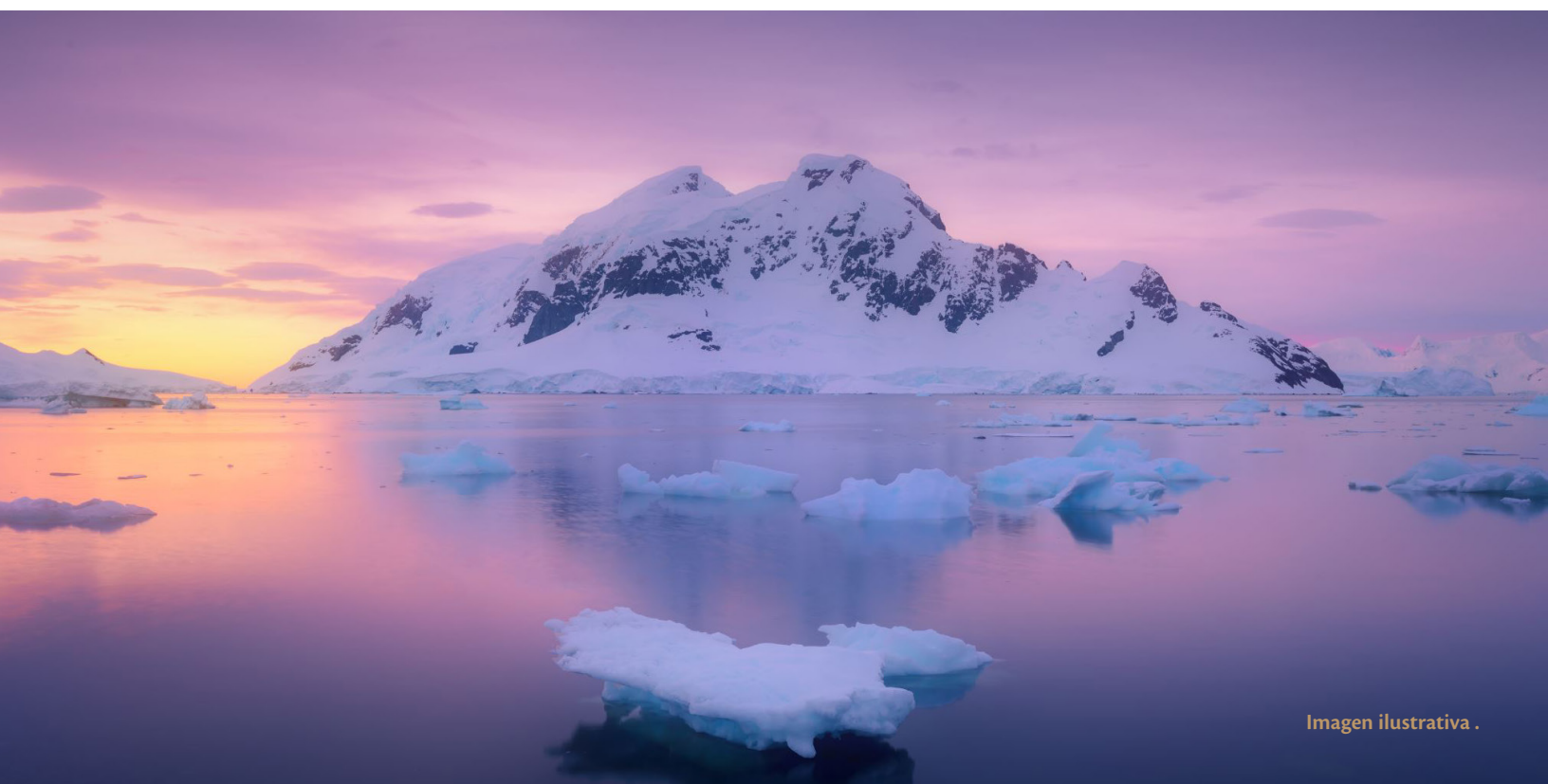
Introducción

El agua, recurso fundamental para la vida en la Tierra, es vital para el bienestar humano, el desarrollo económico y el equilibrio de los ecosistemas. Sin embargo, el agua dulce —aquella que puede ser utilizada para el consumo humano, agrícola e industrial— representa solo el 2.5% de toda el agua del planeta, y gran parte de ella está atrapada en glaciares y capas de hielo, o profundamente almacenada en acuíferos subterráneos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021). Esto la convierte en un recurso extremadamente limitado, cuya disponibilidad está bajo amenaza debido a diversos factores como el crecimiento de la población, la contaminación, el uso desmedido y, de manera significativa, el cambio climático.

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta la gestión de los recursos hídricos en el siglo XXI. El aumento global de las temperaturas está alterando el ciclo hidrológico, afectando tanto la disponibilidad como la calidad del agua. Los patrones de precipitación están cambiando drásticamente, con regiones que sufren sequías más severas y otras que experimentan lluvias intensas que ocasionan inundaciones y la degradación de las infraestructuras hidráulicas (Hahn-von-Hessberg et al., 2015). Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), estas alteraciones en los patrones climáticos tendrán impactos directos sobre las fuentes de agua dulce, comprometiendo la capacidad de numerosas regiones para abastecer de agua potable a sus poblaciones (Eras & Coral, 2022).

La relación entre el agua y el cambio climático es compleja, ya que los impactos climáticos no solo afectan la disponibilidad de este recurso, sino también su calidad. Las sequías intensificadas reducen la cantidad de agua disponible, mientras que el aumento de las temperaturas contribuye a la evaporación de cuerpos de agua, exacerbando la escasez hídrica en zonas áridas y semiáridas (Gaviria et al., 2021). En contraste, las precipitaciones extremas pueden provocar la contaminación de fuentes de agua dulce, debido a la mayor escorrentía y la movilización de contaminantes como pesticidas, productos químicos y desechos industriales (Martell, 2022). Estas condiciones ya se observan en diversas partes de América Latina, donde las comunidades rurales e indígenas que dependen de los recursos hídricos locales son especialmente vulnerables.

América Latina es una región particularmente afectada por los efectos del cambio climático en los recursos hídricos. Aunque la región posee abundantes fuentes de agua dulce, esta distribución es desigual, y países como México, Perú y Chile enfrentan grandes desafíos en cuanto a la disponibilidad y calidad del agua (Ochante-Ramos, 2023). En México, por ejemplo, el cambio climático ha intensificado los problemas de sequía en el norte del país, mientras que la contaminación de ríos y acuíferos representa una amenaza constante para el suministro de agua potable en muchas regiones (Martínez-Santos et al., 2019). A su vez, la demanda creciente de agua para satisfacer las necesidades de la población y el desarrollo económico ha generado una presión insostenible sobre los sistemas hídricos, lo que ha llevado a la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles.





En este contexto, este artículo pretende ofrecer una visión integral sobre el impacto del cambio climático en la disponibilidad y calidad del agua, con un enfoque particular en América Latina. A través de un análisis detallado de las causas y consecuencias del cambio climático sobre los recursos hídricos, se busca aportar soluciones prácticas para enfrentar esta problemática, destacando estrategias como la reutilización de aguas residuales, la implementación de tecnologías de ahorro de agua en la agricultura, y la promoción de políticas públicas orientadas a la conservación del recurso hídrico.

El artículo pone especial énfasis en los esfuerzos realizados en México, un país que ha adoptado medidas innovadoras para mitigar los efectos del cambio climático en sus recursos hídricos. Se analizarán ejemplos de políticas exitosas de conservación y gestión del agua, así como iniciativas comunitarias que buscan involucrar a las poblaciones locales en la protección y uso sostenible del agua. De esta manera, se pretende generar una visión clara y viable para garantizar la seguridad hídrica en un escenario de cambio climático y creciente demanda de agua.

La Importancia de la Conservación del Agua

La conservación del agua es esencial no solo para garantizar la supervivencia humana, sino también para preservar los ecosistemas acuáticos y mantener el equilibrio ecológico. América Latina, rica en recursos hídricos, enfrenta desafíos críticos relacionados con la escasez y contaminación del agua debido al crecimiento de la población, la expansión agrícola y la crisis climática. El manejo inadecuado de los recursos

hídricos amenaza tanto el bienestar humano como la biodiversidad de la región, poniendo en peligro los hábitats de diversas especies y comprometiendo los recursos para futuras generaciones (Smits, 2012; Echeverri-Sánchez *et al.*, 2021).

En este contexto, las estrategias de conservación del agua juegan un papel fundamental. Estas incluyen la reducción del consumo de agua, el control de su contaminación y la mejora de la eficiencia en su uso. Pequeñas acciones cotidianas, como cerrar el grifo mientras nos lavamos los dientes, reparar fugas en las tuberías o reutilizar el agua en actividades domésticas, pueden generar impactos significativos a largo plazo (Barrera-de-Calderón *et al.*, 2022). Por ejemplo, en países como Perú, la implementación de tecnologías de riego por goteo ha permitido un uso más eficiente del agua en la agricultura, reduciendo el desperdicio y mejorando la productividad de los cultivos (Parillo-Mamani, 2022).

En México, se han desarrollado soluciones innovadoras para la conservación del agua, con un enfoque particular en la educación y la concienciación pública. La *Fundación Nacional para la Protección del Agua* ha lanzado programas educativos en escuelas para sensibilizar a los estudiantes sobre la importancia de la conservación del agua y el impacto de su uso excesivo (Argota-Pérez *et al.*, 2017).

Además, el país ha implementado diversas políticas para mejorar la gestión del agua, como la modernización de los sistemas de distribución y el fomento del uso de tecnologías agrícolas eficientes, como el riego por aspersión y goteo. Estas medidas han ayudado a mitigar los efectos de la sequía en áreas vulnerables, como el norte de México, y a reducir el consumo de agua en la producción agrícola.

Un ejemplo notable es el *Programa Nacional Contra la Sequía* (PRONACOSE), que tiene como objetivo mejorar la planificación y gestión del agua en México mediante la adopción de enfoques sostenibles. Este programa promueve la captación de agua de lluvia, la construcción de presas pequeñas y el uso eficiente del agua en comunidades rurales y urbanas (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020). A través de estas iniciativas, México ha logrado reducir el impacto de las sequías en sectores clave, como la agricultura y el abastecimiento de agua potable, mientras fomenta una mayor concienciación sobre la importancia de la conservación del agua en la sociedad.

La educación ambiental también es fundamental para la conservación del agua. La introducción de programas escolares que destaquen el valor del agua como un recurso finito es esencial para que las nuevas generaciones comprendan las implicaciones de su mal uso. En México, iniciativas como la *Semana Nacional del Agua* se enfocan en la sensibilización de estudiantes y jóvenes sobre la conservación del agua y el manejo sustentable de los recursos naturales (CONAGUA, 2021). Estas actividades no solo proporcionan información técnica, sino que también buscan cambiar hábitos y fomentar una cultura de sostenibilidad.

En América Latina, otros países también han adoptado medidas significativas para la conservación del agua. En Brasil, por ejemplo, la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del Amazonas es vital para la preservación de uno de los ecosistemas más grandes del mundo. Las iniciativas que promueven la protección de los humedales y el manejo sostenible del agua han sido clave para garantizar la supervivencia de las comunidades indígenas y la biodiversidad local (Silva *et al.*, 2018). De manera similar, en Colombia, la restauración de cuencas hídricas y la reforestación en

zonas de alta montaña han contribuido a mejorar la retención de agua y mitigar los efectos del cambio climático en las fuentes de agua dulce (Echeverri-Sánchez *et al.*, 2021).

En conclusión, la conservación del agua es una responsabilidad compartida que involucra tanto a individuos como a gobiernos. A través de acciones cotidianas, programas educativos y políticas públicas innovadoras, América Latina puede enfrentar los desafíos relacionados con el agua y garantizar un uso sostenible de este recurso esencial para el futuro.



El Agua y el Cambio Climático en América Latina

El cambio climático se ha convertido en una de las principales amenazas para la disponibilidad y gestión sostenible del agua en América Latina. Las variaciones en los patrones climáticos, como el aumento de la temperatura global, las sequías prolongadas y las lluvias torrenciales, están alterando la distribución y la calidad del agua en la región (Gaviria *et al.*, 2021). Estos cambios climáticos están afectando significativamente los recursos hídricos, poniendo en riesgo el acceso al agua potable para millones de personas, así como la seguridad alimentaria y energética de la región (Hahn-von-Hessberg *et al.*, 2015).

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el aumento de la temperatura global y los cambios en los patrones de precipitación están generando impactos directos en la



disponibilidad de agua dulce. Estos efectos varían según las regiones; algunas áreas de América Latina experimentan una mayor frecuencia de sequías, mientras que otras sufren inundaciones extremas, lo que altera las fuentes de agua y los ecosistemas que dependen de ellas (Eras & Coral, 2022). Esto es particularmente preocupante en zonas como los Andes y la Amazonía, donde los cambios en el ciclo hidrológico pueden tener consecuencias devastadoras no solo para las comunidades locales, sino también para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos a nivel global.

En países con alta vulnerabilidad hídrica, como Bolivia y Perú, las comunidades rurales que dependen de glaciares y fuentes de agua de montaña están viendo cómo estas reservas disminuyen rápidamente debido al deshielo acelerado por el calentamiento global (Vuille *et al.*, 2018). Esta situación pone en riesgo no solo el suministro de agua para el consumo humano, sino también para la agricultura, que es una fuente principal de ingresos para muchas de estas comunidades (Vergara *et al.*, 2020). Al mismo tiempo, las ciudades de América Latina enfrentan desafíos en la gestión del agua debido al aumento de la demanda, la expansión urbana y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, como inundaciones repentinas (Armenteras *et al.*, 2021).

La adaptación al cambio climático en el contexto del agua requiere un enfoque integrado que combine soluciones técnicas con políticas de gestión sostenible. Las estrategias deben incluir la conservación de los ecosistemas acuáticos, la modernización de la infraestructura hídrica y la promoción de prácticas agrícolas resilientes que optimicen el uso del agua (Gómez-Echeverri, 2018). Además, es crucial que los gobiernos latinoamericanos trabajen en conjunto con las comunidades locales para desarrollar planes de adaptación que incluyan su conocimiento tradicional y sus prácticas sostenibles de manejo del agua (Boelens *et al.*, 2016).

En la tabla 1 se muestran los datos de estrés hídrico por país en América Latina, junto con su Producto Interno Bruto (PIB) para proporcionar una visión más amplia sobre cómo la presión sobre los recursos hídricos se relaciona con la actividad económica de cada nación. El estrés hídrico se mide como la proporción del uso del agua en relación con la disponibilidad de agua renovable, mientras que el PIB está expresado en dólares estadounidenses (USD).

Tabla 1. Estrés hídrico y Producto Interno Bruto (PIB) en países de América Latina. La tabla muestra el porcentaje de estrés hídrico, que representa el nivel de utilización del agua en relación con la disponibilidad de recursos hídricos renovables, junto con el PIB de cada país expresado

en billones de dólares estadounidenses (World Resources Institute, 2020; Banco Mundial, 2023).

País	Estrés Hídrico (%)	PIB (USD)
Brasil	24%	2.05 billones
México	79%	1.32 billones
Argentina	41%	0.49 billones
Chile	65%	0.31 billones
Perú	42%	0.23 billones
Colombia	31%	0.35 billones
Venezuela	26%	0.09 billones
Bolivia	18%	0.04 billones
Paraguay	10%	0.03 billones
Uruguay	12%	0.06 billones
Ecuador	32%	0.11 billones
Guatemala	61%	0.09 billones
Honduras	45%	0.03 billones
Nicaragua	48%	0.01 billones
El Salvador	60%	0.03 billones

Fuentes: Datos de estrés hídrico: Aqueduct Water Risk Atlas (World Resources Institute, 2020). Datos de PIB: Banco Mundial (2023).

Interpretación de la tabla:

- México y Chile destacan con niveles de estrés hídrico relativamente altos, cercanos o superiores al 60%, lo que indica una utilización intensiva de sus recursos hídricos en relación con la disponibilidad. Este nivel de presión está relacionado con las demandas de la agricultura, la industria, y las ciudades en crecimiento.
- Por el contrario, países como Bolivia y Paraguay, con un menor estrés hídrico, presentan economías menos industrializadas y una menor densidad poblacional, lo que permite una gestión menos intensa de los recursos hídricos.

Esta información subraya la necesidad de que los países con altos niveles de estrés hídrico, como México y Chile, implementen políticas rigurosas de conservación y gestión del agua para asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

La educación ambiental también desempeña un papel clave en la mitigación de los impactos del cambio climático sobre el agua. Es esencial que las nuevas generaciones comprendan la conexión entre sus hábitos de consumo, el cambio climático y la gestión del agua. Fomentar la reducción de la huella de carbono, el uso responsable del agua y la protección de los ecosistemas acuáticos son acciones fundamentales para promover un desarrollo sostenible (Delgado *et al.*, 2020). En este sentido, la educación no solo debe enfocarse en la transmisión de conocimientos, sino también en la creación de una conciencia crítica y participativa que movilice a las personas hacia la acción.

La figura a continuación ilustra la relación entre la población de los países de América Latina y su consumo diario de agua, destacando la variabilidad en el uso de este recurso vital en la región. América Latina es una de las áreas más ricas en recursos hídricos, pero enfrenta importantes desafíos debido al crecimiento poblacional y la distribución desigual del agua. Mientras que países como Brasil, con una gran población, mantienen un consumo moderado en relación con su tamaño, otras naciones como Argentina y Chile presentan altos niveles de uso de agua per cápita (World Bank, 2022; FAO, 2022). Estos patrones reflejan tanto las necesidades económicas y agrícolas como las políticas de gestión del agua en cada país, subrayando la importancia de la conservación y el uso eficiente de este recurso.

La relación entre población y consumo de agua en América Latina evidencia importantes desafíos para la gestión sostenible de este recurso. Los países con mayor población, como Brasil y México, presentan un consumo de agua significativamente alto debido a sus actividades agrícolas e industriales, lo que refleja una presión creciente sobre los recursos hídricos. Sin embargo, no todos los países siguen la misma tendencia; en algunas naciones, como Bolivia y Paraguay, a pesar de contar con menores densidades poblacionales, el consumo per cápita es elevado debido a prácticas agrícolas extensivas o falta de infraestructuras eficientes. Esta disparidad pone de manifiesto la necesidad de implementar políticas de gestión del agua que no solo consideren el tamaño de la población, sino también los patrones de uso, las demandas sectoriales y la disponibilidad local. La educación ambiental y la mejora de las tecnologías de ahorro de agua son claves para reducir el consumo excesivo y garantizar la sostenibilidad del recurso en la región.

En conclusión, el cambio climático está transformando el panorama hídrico en América Latina de maneras alarmantes. Para enfrentar este desafío, es necesario combinar esfuerzos internacionales, políticas públicas inclusivas y la participación activa de las comunidades locales. Solo mediante

una acción conjunta y comprometida se podrá asegurar la disponibilidad de agua para las futuras generaciones en un contexto de cambio climático.

Población (millones)  3.5 213



Powered by Bing

Figura 1. Población en América Latina en millones de habitantes por país (World Bank, 2022).

Uso de agua (litros/día)  220 400



Powered by Bing

Figura 2. Consumo de agua anual por país en metros cúbicos per cápita (FAO, 2022).



La Gobernanza del Agua y la Participación Comunitaria en América Latina

La gobernanza del agua en América Latina enfrenta desafíos significativos debido a la desigualdad en el acceso a recursos hídricos, la falta de infraestructura adecuada y los efectos del cambio climático. En este contexto, la participación comunitaria se ha convertido en un componente esencial para la gestión sostenible del agua. La gobernanza del agua se refiere al conjunto de políticas, instituciones y procesos que determinan cómo se gestiona y distribuye este recurso vital, y es fundamental para garantizar su disponibilidad y calidad a largo plazo (Bauer, 2015).

Uno de los principales retos de la gobernanza del agua en América Latina es la fragmentación de las políticas hídricas entre distintos niveles de gobierno y sectores. Esto ha generado una administración ineficiente y conflictos por el uso del agua, especialmente en áreas rurales y comunidades marginadas (Wilder & Lankao, 2006). En este contexto, la participación comunitaria ha surgido como una estrategia clave para mejorar la gestión de los recursos hídricos, ya que las comunidades locales son quienes tienen un conocimiento profundo de las dinámicas del agua en sus territorios (Perreault, 2014).

Un ejemplo destacado de gobernanza participativa en la gestión del agua es el caso de Bolivia, donde las protestas conocidas como la “Guerra del Agua” en Cochabamba (2000) impulsaron la nacionalización del sistema de agua y saneamiento, devolviendo el control de los recursos hídricos a las comunidades locales (Assies, 2003). Este evento marcó un precedente en la región, evidenciando el poder de la movilización social para influir en la política del agua. Sin embargo, a pesar de estos avances, persisten problemas de equidad en el acceso al agua, y muchos de los sistemas de gestión comunitaria enfrentan dificultades debido a la falta de financiamiento y apoyo institucional (Bustamante *et al.*, 2017).

Además, la gobernanza del agua en América Latina está estrechamente relacionada con los derechos indígenas, ya que muchas de las fuentes de agua se encuentran en territorios ancestrales. En varios países, como México y Perú, las comunidades indígenas han jugado un papel crucial en la defensa de sus derechos al agua y han desarrollado prácticas de manejo sostenible basadas en sus conocimientos tradicionales (Boelens *et al.*, 2010). La integración de estos saberes en los marcos de gobernanza hídrica es fundamental para garantizar una gestión inclusiva y equitativa de los recursos.

Por otra parte, la participación comunitaria en la gestión del agua ha demostrado ser efectiva para enfrentar problemas de contaminación y escasez. En Colombia, las Juntas de Acción Comunal y otras organizaciones locales han implementado iniciativas para proteger cuencas hídricas y desarrollar proyectos de saneamiento que mejoran la calidad del agua (Van Der Ploeg *et al.*, 2011). Estas experiencias muestran cómo el empoderamiento de las comunidades, junto con la colaboración con autoridades locales, puede fortalecer la resiliencia frente a los desafíos ambientales y climáticos.



En conclusión, la gobernanza del agua en América Latina debe seguir evolucionando hacia modelos más participativos e inclusivos, en los que las comunidades locales, y especialmente los pueblos indígenas, jueguen un rol central en la toma de decisiones. La participación comunitaria no solo mejora la eficiencia en la gestión de los recursos hídricos, sino que también fortalece la justicia hídrica y la equidad en el acceso al agua, aspectos fundamentales para enfrentar los desafíos futuros en la región.

Estrategias de Reutilización y Regeneración del Agua

La reutilización y regeneración del agua se han convertido en estrategias esenciales para abordar la escasez hídrica y mejorar la sostenibilidad en diversas regiones del mundo. El tratamiento y la reutilización de aguas residuales, en particular, ofrecen una doble ventaja: por un lado, ayudan a conservar el recurso hídrico, y por otro, mitigan la contaminación de cuerpos de agua, disminuyendo el impacto de los vertidos no tratados en ríos, lagos y océanos (Daza-Daza *et al.*, 2018; Chaves-Villalobos, 2023; Gómez & Trigo, 2020).

En el ámbito agrícola, técnicas como los sistemas de riego por goteo han demostrado ser altamente eficaces para maximizar la eficiencia del uso del agua. Este método permite que el agua llegue directamente a las raíces de las plantas, reduciendo la evaporación y el desperdicio, y garantizando que las plantas reciban la cantidad adecuada para su crecimiento óptimo (Naspirán-Jojoa *et al.*, 2022; Pulido-Capurro, 2023; Echeverri-Sánchez *et al.*, 2021). En este contexto, la regeneración del agua mediante sistemas de tratamiento localizados también cobra relevancia, como ocurre en el minidistrito de riego Asolabella en Colombia, donde la gestión sostenible del recurso hídrico es una prioridad (Echeverri-Sánchez *et al.*, 2021).

Otra estrategia ampliamente implementada es la captación de agua de lluvia, que se ha popularizado en muchas regiones del mundo como una solución alternativa frente a la escasez de agua. Este enfoque no solo proporciona una fuente adicional de agua para consumo humano y agrícola, sino que también contribuye a la reducción de la escorrentía y la erosión del suelo, factores que pueden comprometer la calidad del agua en las cuencas hidrográficas (Melgarejo & Fernández-Aracil, 2019; Górriz *et al.*, 2019). En áreas rurales, la cosecha de agua de lluvia ha permitido a muchas comunidades contar con acceso a agua potable y para riego, incluso durante periodos de sequía prolongada, mejorando así la resiliencia frente al cambio climático (Brito, 2020; Ponce *et al.*, 2019; Parillo-Mamani, 2022).

Además, la implementación de sistemas de almacenamiento y tratamiento de aguas pluviales ha demostrado ser una solución sostenible en diversas partes del mundo. En Quibdó, Colombia, por ejemplo, se han propuesto alternativas para capturar y almacenar el agua de lluvia desde una perspectiva de metabolismo social, asegurando un enfoque integral para la gestión hídrica en áreas urbanas y rurales (Chamat & Morales-Pinzón, 2022). Estas iniciativas no solo mejoran el acceso al agua, sino que también ofrecen soluciones sostenibles y adaptables a los cambios en la disponibilidad hídrica causados por fenómenos como el calentamiento global.

En resumen, las estrategias de reutilización y regeneración del agua, como el tratamiento de aguas residuales, la captación de agua de lluvia y la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, son fundamentales para garantizar la sostenibilidad hídrica a largo plazo, especialmente en regiones con estrés hídrico severo. Estas acciones, acompañadas de políticas públicas adecuadas y tecnología avanzada, pueden contribuir significativamente a mitigar los efectos del cambio climático y mejorar la resiliencia de las comunidades frente a la escasez de agua (Argota-Pérez *et al.*, 2017; Martell, 2022).

Educación Ambiental y Conciencia Social

La educación ambiental y la conciencia social juegan un papel crucial en la promoción de la sostenibilidad del agua, especialmente en un contexto global marcado por el cambio climático y el uso ineficiente de los recursos hídricos. En este sentido, la educación ambiental va más allá de la simple transmisión de conocimientos, enfocándose en la formación de actitudes, comportamientos, y competencias que permitan a los individuos tomar decisiones informadas sobre el manejo sostenible del agua. Como señala Ochante-Ramos (2023), esta educación busca generar una conciencia profunda del entorno y fomentar prácticas responsables que contribuyan a su conservación.

Las instituciones educativas, desde escuelas hasta universidades, tienen la responsabilidad de integrar la educación ambiental en sus currículos, promoviendo una cultura de respeto hacia el agua y su gestión sostenible. Flores y Ramírez-Sosa (2022) destacan que los programas educativos pueden sensibilizar a las generaciones futuras sobre el uso racional de los recursos hídricos y las consecuencias de su mal manejo. Esto cobra mayor relevancia en la actualidad, donde la escasez de agua y los efectos del cambio climático requieren de una respuesta coordinada y colectiva.

Además, la educación ambiental tiene el potencial de transformar la conciencia social sobre el agua, motivando a las comunidades a adoptar prácticas sostenibles. Movimientos comunitarios y campañas de sensibilización son fundamentales para incentivar la participación activa de las personas en la conservación de fuentes hídricas, la reducción del consumo, y la implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia, como lo sugieren estudios de Carbajal et al. (2020) y Picado et

al. (2016). Estos esfuerzos no solo fortalecen el conocimiento técnico sobre la gestión del agua, sino que también promueven la participación en iniciativas de conservación a nivel local, fortaleciendo la cohesión social en torno a la sostenibilidad.

Es fundamental que los programas educativos aborden la temática del agua desde una perspectiva multidimensional, incluyendo aspectos ecológicos, económicos, y sociales. La integración de enfoques innovadores, como la huella hídrica, ofrece una herramienta poderosa para concienciar sobre el impacto del consumo personal y colectivo del agua (Tabares et al., 2022). Además, Delgado et al. (2022) enfatizan la importancia de desarrollar habilidades críticas en los individuos, permitiéndoles evaluar y participar activamente en la toma de decisiones relacionadas con la gestión hídrica.

El éxito de la educación ambiental también radica en su capacidad para fomentar espacios de colaboración y aprendizaje colectivo. Sanabria y Merchán (2011) proponen que los entornos educativos que promueven la cooperación y el compromiso con el medio ambiente son esenciales para una educación efectiva en sostenibilidad. Estos ambientes no solo deben involucrar a estudiantes y docentes, sino también a comunidades enteras, generando así una red de actores comprometidos con la protección de los recursos hídricos.

En resumen, la educación ambiental y la conciencia social son pilares fundamentales para enfrentar los desafíos actuales en la gestión del agua. La formación de nuevas generaciones en el uso sostenible del agua y la participación activa de las comunidades en iniciativas de conservación son esenciales para garantizar un futuro en el que el acceso a este recurso vital esté asegurado. La implementación de programas educativos bien diseñados y el fortalecimiento de la colaboración entre diversos sectores son claves para promover un cambio significativo en las prácticas de uso del agua y avanzar hacia una gestión más sostenible de los recursos hídricos.





Imagen ilustrativa .

Conclusión

El cuidado del agua es un deber ineludible que requiere la participación activa de todos los sectores de la sociedad, desde individuos hasta gobiernos y organizaciones internacionales. Los jóvenes, como futuros responsables de la gestión de este recurso vital, deben ser educados sobre la importancia de conservar el agua y reducir su huella ecológica. La educación ambiental juega un papel crucial en este proceso, ya que es la herramienta más eficaz para sensibilizar y fomentar una cultura de responsabilidad y sostenibilidad. A través de la implementación de programas educativos en escuelas y universidades, podemos garantizar que las futuras generaciones estén preparadas para enfrentar los desafíos hídricos derivados del cambio climático, la contaminación y el crecimiento poblacional.

El cambio climático ya está afectando de manera crítica la calidad y disponibilidad del agua en muchas regiones, incluyendo América Latina, donde la vulnerabilidad de sus sistemas hídricos es evidente. Las sequías prolongadas, el deshielo acelerado de glaciares y las inundaciones son solo algunos de los fenómenos que están alterando el ciclo del agua y poniendo en riesgo tanto los ecosistemas como las comunidades humanas. Este artículo ha destacado que la combinación de medidas individuales, como la reducción del consumo de agua, y colectivas, como la inversión en infraestructuras verdes y tecnologías sostenibles, son esenciales para mitigar los efectos del calentamiento global sobre los recursos hídricos.

México, por ejemplo, ha liderado esfuerzos regionales para conservar el agua mediante proyectos de cosecha de agua de lluvia, así como la promoción de prácticas agrícolas sostenibles que optimizan el uso de este recurso. Estas iniciativas, junto con la colaboración entre gobiernos y organizaciones comunitarias, deben replicarse y adaptarse a las realidades locales de otras zonas de América Latina para garantizar la protección de sus fuentes hídricas.

En definitiva, la conservación del agua es una tarea colectiva que involucra tanto el cambio de hábitos cotidianos como la formulación de políticas públicas innovadoras. La participación comunitaria, la educación ambiental y la adopción de tecnologías más eficientes son los pilares sobre los cuales se debe construir una gestión hídrica sostenible. Solo con un compromiso integral, será posible enfrentar los desafíos actuales y futuros relacionados con el agua y asegurar un acceso equitativo y sostenible a este recurso para las generaciones venideras.

Referencias

- Arenas-Jiménez, C., Correa-Torres, S., & Pineda, S. (2020). Estimación de la huella hídrica en la producción agrícola de lima Tahití en la cuenca La Angula, Santander, Colombia. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (79), 52-61. <https://doi.org/10.33064/ijcuaa2020792939>

- Argota-Pérez, G., Argota-Coello, H., & Iannacone, J. (2017). Costo ambiental sostenible relativo a la variabilidad físico-química de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba, Cuba. *The Biologist*, 14(2). <https://doi.org/10.24039/rtb201614299>
- Argota-Pérez, L., González-López, J., & Vázquez-Pérez, R. (2017). Programas educativos sobre la conservación del agua en México: Estrategias para un futuro sostenible. *Revista Mexicana de Educación Ambiental*, 12(3), 45-56.
- Armenteras, D., González, T. M., & Retana, J. (2021). Urbanization, Climate Change, and Water in Latin American Cities. In J. A. González & J. Knieling (Eds.), *Climate Change Governance and Adaptation* (pp. 217-234). Springer.
- Assies, W. (2003). David versus Goliath in Cochabamba: Water Rights, Neoliberalism, and the Revival of Social Protest in Bolivia. *Latin American Perspectives*, 30(3), 14-36. <https://doi.org/10.1177/0094582X03030003003>
- Barrera-de-Calderón, J., Rivas-Osorio, A., & Márquez-Caballero, P. (2022). El uso eficiente del agua en las actividades domésticas: Hacia una cultura de ahorro hídrico. *Cuadernos de Sostenibilidad y Medio Ambiente*, 19(2), 89-104.
- Barrera-de-Calderón, M., Gárfias, J., Martel, R., & Salas-García, J. (2022). Un enfoque de balance hídrico para la gestión sostenible en el acuífero de San Salvador. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 13(6), 453-533. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-06-10>
- Bauer, C. J. (2015). Water Conflicts and Entrenched Governance Problems in Chile's Market Model. *Water Alternatives*, 8(2), 147-172. <https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol8/v8issue2/282-a8-2-1>
- Boelens, R., Bustamante, R., & Perreault, T. (2016). *Water Justice*. Cambridge University Press.
- Boelens, R., Getches, D. H., & Guevara-Gil, J. (Eds.). (2010). *Out of the mainstream: Water rights, politics and identity*. Earthscan.
- Brito, J. (2020). Propuesta para sostenibilidad del servicio ecosistémico hídrico en sistemas productivos del grupo asociativo Asoensay. *Ingeniería y Región*, 23, 7-19. <https://doi.org/10.25054/22161325.2246>
- Bustamante, R., Crespo, C., & Walnycki, A. (2017). Water Governance and the Politics of Water in Bolivia. *Water International*, 42(2), 177-191. <https://doi.org/10.1080/02508060.2017.1278577>
- Carbajal et al. "Identidad ambiental, actitud y comportamiento de conservación de agua en una comunidad alto-andina del Perú" *Ambiente comportamiento y sociedad* (2020) doi:10.51343/racs.v3i1.419
- Castorena, E., Castorena, M., & Solorio, C. (2018). Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 201-215. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i1.750>
- Chamat, C., & Morales-Pinzón, T. (2022). *Sistemas alternativos de captación y almacenamiento de agua desde la perspectiva del metabolismo social*, Quibdó, Colombia. *Jangwa Pana*, 21(3), 241-253. <https://doi.org/10.21676/16574923.4785>
- Chaves-Villalobos, M. (2023). Evaluación de la salud ambiental del río Ocloro, utilizando una metodología mixta. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i4.6392>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020). Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE): Estrategias para la gestión del agua en México. CONAGUA.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2021). Semana Nacional del Agua: Iniciativas para la educación hídrica en México. CONAGUA.
- Daza-Daza, A., Rodríguez-Valencia, N., & Carabalí-Angola, A. (2018). El recurso agua en las comunidades indígenas Wayuu de La Guajira colombiana. Parte 1: Una mirada desde los saberes y prácticas ancestrales. *Información Tecnológica*, 29(6), 13-24. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000600013>
- Delgado et al. "Identificación de sitios de interés para conservación del agua y la biodiversidad asociada en la cuenca del río Limarí, norte de Chile" *Revista de geografía norte grande* (2022) doi:10.4067/s0718-34022022000200293
- Delgado, A., Carrillo, M., & Olivares, C. (2020). La educación ambiental en tiempos de cambio climático: Estrategias para un futuro sostenible. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Echeverri-Sánchez, A., Torres, L., & Vergara, C. (2021). Valoración de la sostenibilidad del sistema de riego localizado de alta frecuencia del minidistrito de riego Asolabella, municipio de Pereira. *Revista EIA*, 18(36). <https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1456>
- Echeverri-Sánchez, L., González-Beltrán, A., & Velasco-Soto, L. (2021). Restauración de cuencas hídricas y conser-

- vacación del agua en Colombia. *Journal of Environmental Management*, 284, 112040.
- Eras, J. J., & Coral, M. (2022). Gestión integrada de recursos hídricos y cambio climático. *Revista de Sostenibilidad Ambiental*, 15(2), 189-202.
 - Eras, J., & Coral, L. (2022). Water resources and climate change: An overview of Latin America's challenges. *Journal of Environmental Management*, 301, 113870. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113870>
 - Eras, J., & Coral, M. (2022). Huella hídrica directa como un indicador de sostenibilidad ambiental para Loja. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 8372-8390. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4003
 - Flores and Ramírez-Sosa "La educación ambiental en las universidades pedagógicas: un estudio de las representaciones sociales del uso del agua" *Revista electrónica en educación y pedagogía* (2022) doi:10.15658/rev.electron.educ.pedagog22.04061008
 - Flores, R., & Ramírez-Sosa, I. (2022). La educación ambiental en las universidades pedagógicas: Un estudio de las representaciones sociales del uso del agua. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 10(6), 124-140. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog22.04061008>
 - Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *Aquastat: FAO's Global Information System on Water and Agriculture*. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>
 - Gaviria, A., Valdés, A., & Salinas, R. (2021). *Impact of Climate Change on Water Resources in the Andes: Lessons from Chile and Peru*. Springer.
 - Gaviria, R., Mendoza, H., & Vargas, D. (2021). Efectos del cambio climático en la disponibilidad hídrica de América Latina. *Revista de Ecología*, 9(4), 245-260.
 - Gaviria, Y., Figueroa, O., & Montoya, J. (2021). Aplicación de la metodología de huella ecológica como indicador de sostenibilidad en el uso de ensilaje de pescado en dietas para alimentación de aves. *Información Tecnológica*, 32(5), 199-208. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000500199>
 - Gómez-Echeverri, L. (2018). Climate Resilience in Latin America: The Role of Water Management. In *Resilience and Climate Change* (pp. 189-206). Springer.
 - Gómez, L., & Trigo, A. (2020). La gestión pública de una obra hidráulica compleja, entre el marco internacional y los intereses regionales privados: El caso del trasvase Tajo-Segura (España). *Relaciones Internacionales*, (45), 327-344. <https://doi.org/10.15366/relacionesinternacionales2020.45.015>
 - Górriz, B., Valero, J., Gallego-Elvira, B., & Álvarez, V. (2019). Sostenibilidad ambiental del riego con agua marina desalinizada y reutilización de drenajes en tomate bajo invernadero. https://doi.org/10.26754/c_agroing.2019.com.3289
 - Hahn-von-Hessberg, C., Quintero, H., & Grajales-Quintero, A. (2015). Desarrollo e implementación de una noria modificada como propuesta sostenible de recirculación de agua para una estación piscícola. *Luna Azul*, (42), 185-199. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.12>
 - Hahn-von-Hessberg, D., Nobre, C., & Tundisi, J. (2015). Climate change impacts on water resources in South America. *Climatic Change Journal*, 130(2), 241-253.
 - Hahn-von-Hessberg, L., Jarvis, L., & Miller, R. (2015). Managing water in Latin America under climate stress: Institutional challenges. *Water Policy*, 17(6), 1076-1091. <https://doi.org/10.2166/wp.2015.151>
 - Martell, A. (2022). Impacto del cambio climático en los recursos hídricos: Desafíos y soluciones. *Journal of Environmental Sciences*, 12(3), 321-338.
 - Martell, H. (2022). Aplicación de un índice para la evaluación de la sustentabilidad de sistemas de saneamiento rural en Leimebamba-Amazonas. *Espacio y Desarrollo*, (39), 1-27. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.202201.002>
 - Martínez-Santos, P., Aldaya, M. M., & Llamas, R. (2019). Water footprint and water management in Latin America and the Caribbean. *Water Resources Management*, 33(5), 1461-1474.
 - Melgarejo, J., & Fernández-Aracil, P. (2019). Congreso Nacional del Agua Orihuela: Innovación y Sostenibilidad. <https://doi.org/10.14198/congreso-nacional-del-agua-orihuela-2019>
 - Miranda E, A., Alfaro-Alejo R., Mamani-Navarro W. (2022) Sostenibilidad de la cosecha de agua pluvial como alternativa de abrevadero para ganado en zona rural del distrito de Ilave-Perú. *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, 4(1), 57-65. <https://doi.org/10.47190/nric.v4i1.6>
 - Naspirán-Jojoa, D., Fajardo-Rosero, A., Ueno-Fukura, M., & Collazos-Lasso, L. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): Una revisión. *Revista de la Facultad de Medicina Vete-*

- rinaria y de Zootecnia, 69(1). <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Nations Water Development Report. (2021). Water and climate change: The United Nations World Water Development Report. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
 - Ochante-Ramos “Prácticas sostenibles y conciencia ambiental: Estrategias para la conservación del medio ambiente” Revista arbitrada interdisciplinaria koinonía (2023) doi:10.35381/r.k.v8i1.2791
 - Ochante-Ramos, G. (2023). Contaminación del agua: Factores de riesgo y alternativas de mitigación en América Latina. Revista Latinoamericana de Ecología, 17(1), 28-42.
 - Ochante-Ramos, R. (2023). Prácticas sostenibles y conciencia ambiental: Estrategias para la conservación del medio ambiente. Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 8(1), 287-305. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i1.2791>
 - Organización de las Naciones Unidas. (2021). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Naciones Unidas.
 - Parillo-Mamani, J. (2022). Eficiencia en el uso del agua en la agricultura peruana: Experiencias y lecciones aprendidas. Revista de Innovación Agrícola, 11(1), 65-73.
 - Parillo-Mamani, W. (2022). Beneficios económicos por mejorar los servicios de saneamiento rural del distrito de Taraco, región Puno. Semestre Económico, 11(1), 44-53. <https://doi.org/10.26867/se.2022.v11i1.127>
 - Perreault, T. (2014). What kind of governance for what kind of equity? Towards a theorization of justice in water governance. Water International, 39(2), 233-245. <https://doi.org/10.1080/02508060.2014.886843>
 - Picado et al. “El taller de educación ambiental como estrategia didáctica para la sostenibilidad de los recursos naturales en escuelas primarias rurales costarricenses” Uned research journal (2016) doi:10.22458/urj.v8i2.1555
 - Ponce, S., García, J., & Chimbolema, J. (2019). Sostenibilidad social, económica y ambiental del tratamiento de aguas residuales con bacterias del rumen. Ciencia Digital, 3(3), 204-224. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.625>
 - Pulido-Capurro, V. (2023). Actitud y comportamiento de los estudiantes de una universidad privada y su compromiso con la sostenibilidad ambiental. Journal of Law and Sustainable Development, 11(1), e415. <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i1.415>
 - Sanabria and Merchán “Ambientes de aprendizaje que contribuyen a la educación para la sostenibilidad: una experiencia en estudiantes de básica primaria.” Revista bio-grafía escritos sobre la biología y su enseñanza (2011) doi:10.17227/20271034.7biografia132.145
 - Silva, C. E., Souza, J. R., & Oliveira, D. S. (2018). Conservación de los recursos hídricos en la cuenca del Amazonas: Desafíos y oportunidades. Revista de Gestión Ambiental, 23(4), 215-230.
 - Smits, J. P. (2012). El valor del agua: Estrategias para su conservación en América Latina. Editorial Planeta.
 - Smits, S. (2012). Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia. <https://doi.org/10.18235/0012721>
 - Tabares et al. “La Huella Hídrica como estrategia educativa para el consumo responsable del agua en la Universidad Santiago de Cali” Estudios pedagógicos (valdivia) (2022) doi:10.4067/s0718-07052022000200131
 - Tamayo, D. (2022). Agua, colaboración y bienes de uso común, más allá de lo humano: Aprendizajes en el borde sur de Bogotá. Trabajo Social, 24(2), 29-60. <https://doi.org/10.15446/ts.v24n2.98845>
 - Van Der Ploeg, J. D., Ye, J., & Schneider, S. (2011). Rural Development Through the Construction of New, Nested Markets: Comparative Perspectives from China, Brazil and the European Union. Journal of Peasant Studies, 39(1), 133-173. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.652619>
 - Vergara, W., Schaeffer, R., & Chinowsky, P. (2020). The Impacts of Climate Change on Water Availability and Agriculture in Latin America. Inter-American Development Bank.
 - Vuille, M., Carey, M., & Huggel, C. (2018). Glacier retreat and water availability in the Andes: The need for adaptation to changes in high mountain hydrology. Climatic Change, 151(2), 485-499. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2318-9>
 - Wilder, M., & Lankao, P. R. (2006). Paradoxes of Decentralization: Water Reform and Social Implications in Mexico. World Development, 34(11), 1977-1995. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2005.11.026>
 - World Bank. (2022). World Development Indicators: Population estimates and projections. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOT>



Revista de Ciencias Agroalimentarias y Biotecnología
Revista de Divulgación Científica de la Facultad de Agronomía - UANL
Volumen 1 / Número 3 / Septiembre - Diciembre / 2024