Revista Científica Arbitrada de la Fundación MenteClara
ISSN 2469-0783
Fundación MenteClara
Investigación, docencia y asistencia
revista@fundacionmenteclara.org.ar

Artículos atravesados por (o cuestionando) la idea del sujeto -y su género- como una construcción psicobiológica de la cultura.
Articles driven by (or questioning) the idea of the subject -and their gender- as a cultural psychobiological construction.
Vol. 11 (2026), enero-diciembre
ISSN 2469-0783

BIOTECNOLOGÍA EN COMUNIDADES INDÍGENAS: OPORTUNIDADES, DESAFÍOS ÉTICOS Y SOSTENIBILIDAD

BIOTECHNOLOGY IN INDIGENOUS COMMUNITIES: OPPORTUNITIES, ETHICAL CHALLENGES AND SUSTAINABILITY

Israel Osuna Flores iosuna@uaim.edu.mx
Universidad Autónoma Indígena de México, México.
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0199-2983

Arturo Rafael Armenta López aral150494@hotmail.com
Universidad Autónoma Indígena de México
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7417-3121

Xavier Eduardo Verdugo Contreras verdugocontrerasx@gmail.com
Universidad Autónoma Indígena de México
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6979-4262

Estela Sañudo Ayala estelasanayala@uaim.edu.mx
Universidad Autónoma Indígena de México
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8914-8826

Mario Guadalupe López Ayala mario.lopez@uadeo.mx
Universidad Autónoma de Occidente, México.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5377-6257

Cómo citar este artículo / *Citation*: Osuna Flores, I., Armenta López, A. R., Verdugo Contreras, X. E., Sañudo Ayala, E. & López Ayala, M. G. (2026). Biotecnología en comunidades indígenas: oportunidades, desafíos éticos y sostenibilidad. *Revista Científica Arbitrada de la Fundación MenteClara*, Vol. 11 (451).
DOI: https://doi.org/10.32351/rca.v11.451

Copyright: © 2026 RCAFMC. Este artículo de acceso abierto es distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
Recibido: 05/10/2026. Aceptado: 08/10/2026. Publicación online: 14/10/2026.

Conflicto de intereses: Ninguno que declarar.

Resumen

La biotecnología se considera un pilar para el desarrollo científico y tecnológico actual y su implementación en las comunidades indígenas plantea desafíos de tipo ético, social y ambiental que requieren de un análisis crítico y contextualizado. El presente

artículo tiene como objetivo analizar la relación entre la biotecnología y los pueblos indígenas, con énfasis en América Latina y México, mediante una metodología de carácter cualitativo, a través de una revisión documental sustentada en el análisis crítico-interpretativo de la literatura científica publicada en el periodo 2015-2026. Aparte de algunas excepciones que contemplan trabajos fundacionales. Se examinan aplicaciones concretas como la conservación de especies nativas, la restauración de ecosistemas, la agricultura sostenible, la genómica aplicada a la salud y el territorio. También se dan casos de comunidades indígenas, como: tzeltales y tzotziles en Chiapas, y nahuas en Puebla, así como experiencias en América Latina (Amazonía ecuatoriana y Chimborazo), que evidencian tanto los beneficios potenciales como las tensiones existentes. Entre los retos que se detectan están la biopiratería, la violación al consentimiento libre previo e informado, la asimetría de los mecanismos de distribución de los beneficios y la persistencia de los enfoques coloniales en la investigación científica. El artículo incorpora los nuevos marcos de gobernanza como el Fondo de Cali para la Información de Secuencia Digital (COP16) y los principios C.A.R.E. de soberanía de datos indígenas. Concluye que la biotecnología puede aportar efectivamente al desarrollo sostenible cuando se basa en los principios de justicia, participación efectiva de la comunidad y respeto a la autonomía cultural, y que se requieren enfoques de codiseño que integren conocimientos científicos y tradicionales.

Abstract

Biotechnology is considered a pillar of current scientific and technological development, and its implementation in indigenous communities poses ethical, social, and environmental challenges that require critical and contextualized analysis. This article aims to analyze the relationship between biotechnology and indigenous peoples, with emphasis on Latin America and Mexico, through a qualitative methodology based on a documentary review supported by critical-interpretive analysis of the scientific literature published between 2015 and 2026, aside from a few exceptions involving foundational works. It examines specific applications such as the conservation of native species, ecosystem restoration, sustainable agriculture, and genomics applied to health and territory. It also presents cases from indigenous communities, such as the Tzeltal and Tzotzil peoples in Chiapas and the Nahua peoples in Puebla, as well as experiences in Latin America (the Ecuadorian Amazon and Chimborazo), which reveal both potential benefits and existing tensions. Among

the challenges identified are biopiracy, violations of free, prior, and informed consent, asymmetries in benefit-sharing mechanisms, and the persistence of colonial approaches in scientific research. The article incorporates new governance frameworks such as the Cali Fund for Digital Sequence Information (COP16) and the C.A.R.E. Principles of Indigenous Data Sovereignty. It concludes that biotechnology can effectively contribute to sustainable development when it is based on the principles of justice, effective community participation, and respect for cultural autonomy, and that co-design approaches integrating scientific and traditional knowledge are required.

Palabras Claves: bioética intercultural; biopiratería; conocimiento tradicional; participación comunitaria; soberanía de datos

Keywords: intercultural bioethics; biopiracy; traditional knowledge; community participation; data sovereignty

1. Introducción

La biotecnología es el aprovechamiento de seres vivos, o de sus partes, para crear productos y procesos útiles (Larqué-Saavedra, 2016). La biotecnología nos suele parecer una ciencia del presente, pero pasa por alto que las comunidades indígenas ya hacían biotecnología mucho antes de que la definiésemos así. La fermentación, la nixtamalización y otras técnicas ancestrales son ejemplos. De ahí viene lo que hoy conocemos como conocimiento tradicional: son los saberes, innovaciones, y prácticas que las comunidades indígenas han desarrollado a lo largo de generaciones y que están muy ligados a su identidad y a la biodiversidad de sus territorios.

La biotecnología de hoy en día, por su parte, no se detiene. Ya estamos hablando de edición genética, biología sintética, conservación *In vitro*. Estas tecnologías que ya están demostrando su valor frente a desafíos globales como el cambio climático o la pérdida de biodiversidad. Sin embargo, cuando estas tecnologías se aplican en el mundo de las comunidades indígenas, la cosa se enreda. Hay un choque real entre el avance tecnológico y la protección del conocimiento tradicional, y esto nos plantea unas preguntas éticas de las que no podemos escapar (Sardi & Azpiroz-Cleñan, 2024).

Lo último en investigación lo confirma: el conocimiento indígena es imprescindible para la ciencia. Más aún: es la base de un montón de innovaciones biotecnológicas (Hernández-Vicente, 2025). Y no es un detalle. La relación entre biotecnología moderna e indígenas ha generado también una gran controversia en torno a temas como el acceso a recursos genéticos, el aprovechamiento del conocimiento tradicional y la equidad en la distribución de beneficios (Rojas & Nemogá, 2021).

En este artículo, hablamos de esa relación entre la biotecnología y los pueblos indígenas, poniendo encima de la mesa no solo los beneficios que puede aportar, sino también los riesgos: la biopiratería, el desvanecimiento del conocimiento tradicional, entre otros. En concreto, perseguimos tres objetivos. Primero, recopilar las biotecnologías usadas en comunidades indígenas de México y Latinoamérica, basándonos en la literatura científica de revistas con comité de expertos. Segundo, señalar los principales dilemas éticos, legales y sociales que conllevan estos procesos, recordando al mismo tiempo que la ciencia colonial también se dedicó a investigar a indígenas. Y tercero, echar un vistazo a algunos marcos de gobernanza que están naciendo, como el Fondo de Cali o los principios C.A.R.E., y que buscan fomentar la distribución justa de beneficios y el respeto a la soberanía de datos.

2. Metodología

El presente trabajo se desarrolló mediante una metodología cualitativa de tipo documental y analítico, con un enfoque crítico-interpretativo que permitió examinar las implicaciones sociales, éticas y culturales de la relación entre biotecnología y comunidades indígenas.

2.1. Estrategia de búsqueda

La información recolectada fue sistematizada en matrices temáticas que facilitaron la identificación de categorías emergentes: (a) aplicaciones biotecnológicas en territorios indígenas; (b) desafíos éticos y marcos regulatorios; (c) casos de biopiratería y apropiación indebida; (d) modelos de participación comunitaria y distribución de beneficios; (e) nuevas fronteras tecnológicas (inteligencia artificial, biología sintética) y sus implicaciones.

Con base en esta revisión se elaboró un texto de reflexión que dialoga con los hallazgos de la literatura y los pone en relación con el contexto de las comunidades indígenas de México y América Latina. Se dieron especialmente por válidos aquellos estudios que aportan marcos conceptuales y recomendaciones prácticas para el trabajo biotecnológico con comunidades.

2.2. Criterios de selección

Se incluyeron artículos originales, revisiones sistemáticas, documentos institucionales de organismos internacionales Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), Fondo para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de América Latina y el Caribe (FILAC), Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) y capítulos de libros que abordaran alguna de las siguientes temáticas:

- Biotecnología aplicada en contextos indígenas.
- Bioética y pueblos indígenas.
- Biopiratería y protección del conocimiento tradicional.
- Participación comunitaria en proyectos biotecnológicos.
- Soberanía de datos genómicos y mecanismos de distribución de beneficios.

3. Biotecnología y conocimiento tradicional indígena

El conocimiento tradicional indígena ha tenido efectos importantes en áreas como la medicina natural, la agricultura y la conservación de ecosistemas. Este conocimiento, que se transmite de generación en generación, ha permitido la comprensión de la biodiversidad local y representa un patrimonio biocultural. Los saberes indígenas son esenciales para el desarrollo de soluciones sostenibles en biotecnología. Hernández-Vicente (2025), menciona que la riqueza de los pueblos indígenas revoluciona, empodera y engrandece la tecnología y que los aspectos artesanales de los recursos conservan muchos saberes que no deben ser subestimados.

La biotecnología moderna depende estos conocimientos, aunque no los reconoce adecuadamente ni de una manera justa. Las comunidades indígenas han desarrollado sistemas biotecnológicos propios que se han basado en el conocimiento empírico de la naturaleza. Ejemplo de ellos son las chinampas, procesos de conservación de alimentos mediante fermentación y usos medicinales de plantas que luego se han sido adoptados por la farmacología moderna (Larqué-Saavedra, 2016).

Estos conocimientos de las comunidades indígenas son una base importante para la biotecnología contemporánea, especialmente en la farmacología y la agricultura sostenible. Aunque se sostiene una asimetría en el reconocimiento y la valoración de estos saberes frente al conocimiento científico hegemónico.

4. Biotecnología e innovación

4.1. Biotecnología e innovación en comunidades indígenas

La biotecnología y la innovación representan herramientas clave para el desarrollo sostenible; su incursión en comunidades indígenas necesita enfoques inclusivos, éticos y culturalmente pertinentes. Esta no debe entenderse únicamente como avance tecnológico, sino como un proceso social que integra conocimientos científicos y saberes tradicionales.

Estas comunidades indígenas presentan un amplio conocimiento sobre biodiversidad, agricultura y medicina tradicional, que es fundamental para el desarrollo de diversas aplicaciones biotecnológicas. El uso de recursos genéticos y conocimientos etnobotánicos ha contribuido a la investigación farmacéutica y agrícola moderna (Alarcón-Lavín, 2010).

La participación activa de los pueblos indígenas es preponderante en la innovación. Deben pasar de ser sujetos pasivos a actores clave en la ciencia, la tecnología y la innovación, integrando sus conocimientos en la solución de problemas globales (FILAC, 2021). Es relevante garantizar mecanismos como el consentimiento libre, previo e informado y el respeto a los derechos colectivos.

La innovación tecnológica fortalece las prácticas tradicionales cuando estas se desarrollan de manera colaborativa. La investigación participativa ha demostrado ser una pieza clave para el manejo sostenible de los recursos naturales, la cual combina conocimientos locales y científicos (Bocco et al., 2000). Al mismo tiempo, proyectos de innovación social han contribuido al desarrollo local sostenible y a la mejora de la calidad de vida a través de iniciativas productivas y organizativas (Silva-Flores, 2024).

La biología sintética y la ingeniería genética, plantean desafíos importantes. Existen preocupaciones sobre sus posibles impactos en los ecosistemas, los medios de vida y la cultura de los pueblos indígenas (Teran, 2023). Esto resalta la necesidad de marcos éticos y regulatorios que protejan tanto la biodiversidad como los conocimientos tradicionales.

La biotecnología contribuye de manera positiva al fortalecimiento de las comunidades indígenas, por ejemplo, mediante el rescate de variedades agrícolas tradicionales y la conservación de la biodiversidad. Estas permiten preservar el patrimonio biocultural y fomentan sistemas alimentarios más sostenibles (Raíces Indígenas 2024).

La biotecnología ha iniciado a integrarse con otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, destacando el uso de modelos de lenguaje e inteligencia artificial para preservar lenguas indígenas, lo que ha venido representando una nueva dimensión de la biotecnología aplicada a la cultura (Pinhanez et al., 2024).

La relación entre biotecnología, innovación y comunidades indígenas se basa en la colaboración, el respeto y la equidad. La integración de conocimientos tradicionales y científicos, junto con la participación activa de las comunidades, permite lograr un desarrollo tecnológico verdaderamente sostenible e inclusivo.

4.2. Aplicaciones de la biotecnología en contextos indígenas

La biotecnología ha sido aplicada en comunidades indígenas en diversos ámbitos que abordan problemáticas concretas, desde la conservación de especies

culturalmente significativas hasta la recuperación de suelos degradados y el fortalecimiento de sistemas alimentarios locales.

A continuación se presentan las principales áreas de aplicación en México y América Latina.

4.2.1. Conservación de especies nativas y rescate de variedades tradicionales

La conservación de especies vegetales de importancia cultural y alimentaria es una de las aplicaciones más importantes de la biotecnología en comunidades indígenas. En México, técnicas como el cultivo *in vitro* y la crioconservación se han implementado para preservar agaves utilizados en ceremonias tradicionales y producción de mezcal en comunidades de Hidalgo y Oaxaca. López y Quintero-Jiménez (2025) mencionan que estas técnicas permiten conservar germoplasma de agaves en peligro de desaparición.

Estudios etnobotánicos y de conservación genética han permitido establecer bancos comunitarios de semillas en zonas indígenas de México. Keleman et al. (2009) analizaron cómo las comunidades tzeltales y tzotziles de Chiapas desarrollan estrategias de conservación *in situ* que combinan conocimientos tradicionales con técnicas de mejoramiento participativo, preservando de esta manera, variedades adaptadas a condiciones locales específicas y fortaleciendo la seguridad alimentaria. Por su parte Bellon et al. (2018) mencionan que la diversidad genética de los maíces nativos en México se sigue manteniendo gracias a sistemas de manejo comunitario que a la vez pueden ser complementados con técnicas biotecnológicas de conservación *ex situ*.

4.2.2. Restauración de ecosistemas y biorremediación

La biotecnología puede contribuir a la restauración de ecosistemas degradados mediante el aprovechamiento de microorganismos, plantas y otros organismos presentes en los territorios indígenas. En este contexto, su aplicación puede complementarse con los conocimientos tradicionales de las comunidades sobre las especies locales, los ciclos naturales y el manejo de los recursos. Conforme-García et al. (2024) señalan que, en la Amazonía ecuatoriana, la integración del conocimiento tradicional con herramientas de biotecnología verde puede favorecer estrategias de restauración adaptadas a las condiciones ecológicas y culturales de las comunidades.

Un ejemplo de esta relación es la utilización de microorganismos nativos para la biorremediación de suelos contaminados. En México, Carrillo-Pérez et al. (2004) identificaron bacterias provenientes de ambientes contaminados del Valle del Yaqui, Sonora, capaces de degradar DDT. Este tipo de investigación demuestra el potencial de los microorganismos propios de una región para recuperar ambientes afectados por actividades agrícolas. Su aplicación en territorios donde habitan comunidades indígenas puede fortalecerse mediante la participación de estas comunidades, incorporando sus conocimientos sobre el territorio y procurando que las tecnologías empleadas sean compatibles con sus prácticas y necesidades.

De esta manera, la biotecnología no debe considerarse únicamente como una herramienta tecnológica, sino como un recurso que puede complementarse con los conocimientos ecológicos tradicionales. La participación de las comunidades indígenas puede contribuir a identificar especies y microorganismos locales, reconocer cambios en los ecosistemas y definir prácticas de restauración acordes con las características culturales y ambientales de cada territorio (Conforme-García et al., 2024). Así, la restauración y la biorremediación pueden orientarse hacia un modelo que combine conocimiento científico, saberes tradicionales y conservación de la biodiversidad.

4.2.3. Agricultura sostenible y agroecología

La aplicación de la biotecnología en la agricultura de las comunidades indígenas representa una alternativa para fortalecer los sistemas tradicionales de producción mediante el uso de microorganismos, biofertilizantes, bioestimulantes y agentes de control biológico. Este enfoque permite complementar los conocimientos tradicionales sobre el manejo del suelo, las semillas, los cultivos y los ciclos agrícolas con conocimientos científicos, favoreciendo prácticas productivas más sostenibles y adaptadas a las condiciones de cada territorio (Roblada-Mancilla et al., 2024).

En este sentido, la agricultura sostenible no debe entenderse únicamente como la incorporación de nuevas tecnologías, sino como un proceso de intercambio de conocimientos entre las comunidades y los investigadores. Los pueblos indígenas poseen conocimientos construidos durante generaciones sobre las características de sus territorios, las variedades de cultivos, el comportamiento de las plantas y las prácticas de conservación del suelo. Estos conocimientos pueden complementar las

herramientas biotecnológicas para desarrollar soluciones que respondan a las necesidades específicas de cada comunidad (López-García et al., 2024).

Uno de los principales aportes de la biotecnología a estos sistemas agrícolas es el desarrollo y utilización de bioinsumos elaborados a partir de microorganismos benéficos. Los biofertilizantes y bioestimulantes pueden contribuir a mejorar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el crecimiento de las plantas, mientras que otros microorganismos pueden utilizarse para el control biológico de organismos que afectan los cultivos. En comunidades rurales mexicanas, el desarrollo y uso comunitario de bioinsumos se ha relacionado con procesos de regeneración del suelo, reducción de la dependencia de insumos externos y fortalecimiento de la autonomía de los productores (Roblada-Mancilla et al., 2024).

Esta relación resulta particularmente importante en los sistemas tradicionales de cultivo de maíz. En México, diferentes investigaciones han identificado microorganismos asociados a los cultivos que presentan características de interés agrícola, como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la producción de sustancias que favorecen el crecimiento vegetal. El aprovechamiento de estos microorganismos puede complementar las prácticas tradicionales de manejo agrícola y contribuir a disminuir la dependencia de fertilizantes químicos (Mancilla et al., 2024).

La participación de las comunidades es fundamental para que estas tecnologías sean apropiadas y sostenibles. En lugar de implementar tecnologías de manera externa, los procesos de codiseño permiten que los productores participen en la identificación de problemas, selección de microorganismos, elaboración de bioinsumos y evaluación de los resultados. De esta manera, el conocimiento científico y el conocimiento tradicional se complementan, generando tecnologías que pueden ser adaptadas a las condiciones ambientales, económicas y culturales de cada comunidad (Roblada-Mancilla et al., 2024).

Asimismo, los conocimientos indígenas sobre la biodiversidad pueden contribuir a identificar recursos biológicos con potencial para la agricultura y otros procesos biotecnológicos. Las comunidades poseen conocimientos detallados sobre especies de plantas, hongos y otros organismos presentes en sus territorios. Por ejemplo, López-García et al. (2024) documentaron diferencias y similitudes en el conocimiento tradicional sobre especies de hongos de importancia cultural entre comunidades indígenas de Oaxaca, mostrando la existencia de conocimientos ecológicos locales

vinculados con la biodiversidad. Este tipo de conocimiento puede constituir una fuente importante para investigaciones biotecnológicas, siempre que su utilización respete la participación, los derechos y los intereses de las comunidades.

Por otra parte, la incorporación de biotecnología puede contribuir a fortalecer la autonomía productiva de las comunidades indígenas. La elaboración local de bioinsumos permite que los productores reduzcan parcialmente su dependencia de productos comerciales externos y aprovechen recursos disponibles en sus propios territorios. Roblada-Mancilla et al. (2024) señalan que las experiencias comunitarias relacionadas con bioinsumos pueden favorecer procesos de organización, intercambio de conocimientos y regeneración de los sistemas productivos.

Por lo tanto, la relación entre biotecnología y agricultura indígena debe plantearse desde una perspectiva participativa y de intercambio de saberes. El objetivo no es sustituir las prácticas tradicionales por tecnologías modernas, sino combinar los conocimientos científicos con los conocimientos construidos por las comunidades para mejorar la producción, conservar la biodiversidad, mantener la fertilidad del suelo y fortalecer la autonomía alimentaria. Desde esta perspectiva, la biotecnología puede convertirse en una herramienta complementaria dentro de los sistemas agroecológicos indígenas, siempre que su desarrollo e implementación se realicen con la participación activa de las comunidades (Roblada-Mancilla et al., 2024; López-García et al., 2024).

4.2.4. Genómica aplicada a la salud y el territorio

La genómica ha sido empleada en las comunidades indígenas. La experiencia del Proyecto de Diversidad del Genoma Humano (HGDP) en poblaciones indígenas mexicanas mostró la necesidad de la elaboración de marcos de consentimiento informado y gobernanza comunitaria (De la Garza & Camino, 2025). Estos autores analizaron críticamente los dilemas éticos y la evolución hacia modelos más participativos.

Salceda et al. (2015) mencionan que estudios bioantropológicos han sido utilizados por comunidades indígenas para reclamar derechos territoriales en Argentina, demostrando que la investigación genómica tiene aplicaciones concretas para la autodeterminación comunitaria cuando estas tienen control sobre los procesos y la interpretación de los resultados.

Las consideraciones culturales, éticas, legales y sociales (CELS) referente a las investigación genómica con pueblos indígenas identifican que el 49% de los artículos analizados hablan de consideraciones éticas relacionadas con el consentimiento, el acceso a datos y la confidencialidad, mientras que el 67% abordan consideraciones sociales como la toma de decisiones colectiva, el determinismo genético y la estigmatización.

5. Desafíos éticos y bioéticos contemporáneos

Varias de las iniciativas tecnocientíficas se implementan sin una consulta adecuada, esto limita la capacidad de las comunidades para influir en decisiones que afectan sus territorios y sus formas de vida (Red TECLA, 2024).

Los principios bioéticos fundamentales como la justicia, la autonomía y la equidad sigue, siendo vulnerados, especialmente cuando los beneficios que se derivan de la biotecnología no se distribuyen de manera justa entre las comunidades que aportan sus conocimientos y recursos genéticos (López & Quintero-Jiménez, 2025). Las investigaciones realizadas en el campo de la biotecnología debe respetar principios como la autonomía de las comunidades, la justicia distributiva y el consentimiento libre, previo e informado (CLPI), esto entendido como el derecho de las comunidades a ser consultadas y a otorgar o declinar su autorización de manera informada antes del inicio de cualquier proyecto que afecte sus territorios o conocimientos.

La falta de consulta previa ha sido una problemática recurrente en comunidades indígenas (Rojas & Nemogá, 2021). Incluyendo las propuestas llevadas a cabo en el marco del Proyecto de Diversidad del Genoma Humano (HGDP). Es importante destacar los aspectos sociales y éticos implicados en los estudios genéticos; estos deben tomar en cuenta a los pueblos indígenas, su opinión, autorización y derecho a crear y sostener su propia cultura, así como su autonomía, derecho al respeto, la dignidad y la igualdad (De la Garza & Camino, 2025).

Los estudios genéticos han permitido a las comunidades indígenas reclamar derechos territoriales (Salceda et al., 2015). Sin embargo, las investigaciones científicas tienden a considerar a los pueblos indígenas no como sujetos de derechos políticos, sino como objetos de estudio. Como señalan Sardi y Azpiroz-Cleñan (2024), las comunidades reclaman no ser tratadas como meros informantes, pues ello implica que su contribución a la investigación no se reconozca y que sus saberes y cosmovisiones ocupen una posición subordinada frente a la ciencia.

6. Biopiratería y apropiación del conocimiento

La biopiratería constituye uno de los principales riesgos asociados a la biotecnología en comunidades indígenas. Esto implica la explotación no autorizada de recursos biológicos y conocimientos tradicionales sin compensación adecuada para las comunidades indígenas. Osuna-Flores y Sañudo-Ayala (2024) señalan que el conocimiento indígena es de naturaleza colectiva y es accesible al público en su mayor parte, a diferencia de la investigación y el desarrollo tecnológico llevado a cabo por empresas, las cuales presentan registro de múltiples patentes que les otorgan derechos exclusivos sobre productos y procesos.

La relación existente entre las empresas multinacionales y las comunidades indígenas no es entre iguales y resulta difícil de equilibrar (Ortiz Monasterio Quintana, 2006). La biopiratería implica la apropiación de conocimientos indígenas y muestras biológicas como materia prima para la industria farmacéutica de manera especial, con el supuesto de tratarse de información obvia y de libre acceso, y de recursos naturales que adquieren valor únicamente a partir del proceso industrial. Esto se suma el lenguaje especializado relacionado con la genética, la biología molecular y otras tecnologías modernas que se involucran en el debate sobre bioprospección (Ortiz Monasterio Quintana, 2006; Osuna-Flores & Sañudo-Ayala, 2024).

El proyecto ICBG-Maya en Chiapas, México, es caso especial donde la comunidades indígenas denunciaron el uso indebido de su conocimiento etnobotánico por parte de investigadores e instituciones extranjeras (Alarcón-Lavín, 2010). Este tipo de prácticas muestran la necesidad de marcos legales más sólidos y mecanismos efectivos de protección del conocimiento tradicional, así como de una ética de la investigación que coloque en el centro los derechos colectivos de los pueblos indígenas.

7. Marcos de gobernanza

7.1 Marcos internacionales emergentes

El Protocolo de Nagoya sobre Acceso y Participación en los Beneficios constituye un hito legal para la distribución justa y equitativa derivada del uso de recursos genéticos tradicionales. El Fondo de Cali, aprobado en la COP16 del Convenio sobre Diversidad Biológica (Cali, Colombia, 2024), establece un mecanismo para que las

empresas que utilizan Información de Secuencia Digital (DSI) proveniente de la naturaleza y conocimiento tradicional contribuyan con el 1% de sus ganancias o el 0.1% de sus ingresos a la conservación de la biodiversidad y al apoyo a las comunidades custodias (Convention on Biological Diversity, 2025). En los últimos años, se han desarrollado marcos operativos para la implementación del Fondo, estableciendo criterios de elegibilidad y mecanismos de distribución que priorizan a pueblos indígenas y comunidades locales como beneficiarios directos (CBD, 2025).

7.2 Soberanía de datos y principios C.A.R.E.

La Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (UNDRIP) afirma la soberanía de datos indígenas como parte integral de la autodeterminación. La soberanía de datos genómicos implica que las comunidades tengan autoridad sobre la recolección, propiedad y uso de sus datos, Esto es particularmente importante en proyectos de genómica y salud.

La Alianza Global para Datos Indígenas (GIDA) ha desarrollado los principios C.A.R.E. (Beneficio Colectivo, Autoridad para Controlar, Responsabilidad y Ética) como marco de protección de datos para comunidades indígenas. Estos principios complementan los principios FAIR (Localizables, Accesibles, Interoperables y Reutilizables) al incorporar dimensiones éticas y de gobernanza comunitaria.

El *Tribal Data Repository* financiado por el gobierno federal de Estados Unidos, que representa un modelo pionero de gobernanza de datos bajo autoridad tribal, priorizando los intereses comunitarios en la gestión de datos genómicos (Anderson et al., 2025). Este incorpora los principios C.A.R.E. como marco operativo, complementando los principios FAIR con dimensiones éticas y de gobernanza comunitaria. Es necesario implementar la gobernanza de datos indígenas en la infraestructura de investigación, traduciendo los marcos éticos en prácticas técnicas concretas (Edwards et al., 2025).

Pankararu et al. (2026) proponen una infraestructura global de datos sobre biodiversidad que reconozca explícitamente el conocimiento indígena y local, estableciendo protocolos de gobernanza que aseguren que las contribuciones de las comunidades sean reconocidas y que los beneficios derivados del uso de estos datos retornen a ellas.

7.3. Modelos de colaboración ética

La relación entre la biotecnología y las comunidades indígenas requiere modelos de colaboración que superen los esquemas tradicionales en los que investigadores, universidades o empresas obtienen recursos biológicos y conocimientos locales sin una participación significativa de las comunidades. En este sentido, los modelos de colaboración ética buscan que las comunidades indígenas participen activamente en las diferentes etapas de los proyectos, desde el diseño de la investigación y la obtención de muestras hasta la gestión de los datos, la interpretación de los resultados y la distribución de los beneficios. Este enfoque reconoce que la participación comunitaria no debe limitarse a otorgar autorización para realizar una investigación, sino que debe contemplar relaciones de largo plazo, transparencia, fortalecimiento de capacidades y respeto a las formas propias de organización y toma de decisiones (Claw et al., 2018).

Uno de los elementos fundamentales de estos modelos es la distribución justa de beneficios**.** Cuando una empresa biotecnológica utiliza información genética, recursos biológicos o conocimientos asociados a una comunidad para desarrollar productos, medicamentos o tecnologías con valor comercial, resulta necesario establecer mecanismos que permitan que las comunidades participantes reciban beneficios derivados de dichas actividades. Estos beneficios pueden ser económicos, pero también pueden incluir acceso a servicios de salud, infraestructura, capacitación, educación, investigación local, fortalecimiento de capacidades científicas y participación en futuros proyectos. De esta manera, el beneficio compartido puede contribuir a que la relación entre empresas, investigadores y comunidades sea más equilibrada (Claw et al., 2018).

Un ejemplo de este tipo de modelo es Variant Bio, empresa dedicada al descubrimiento de tratamientos mediante el estudio de la diversidad genética humana. La empresa ha establecido compromisos de distribución colectiva de beneficios con comunidades participantes en sus investigaciones. Su modelo contempla, a largo plazo, la distribución del 4 % de los ingresos anuales y del 4 % del valor de la participación accionaria en determinadas circunstancias, entre las comunidades que contribuyen a los estudios. Además, su programa contempla beneficios de corto plazo equivalentes al 10 % del presupuesto de cada proyecto, con un límite de 100 000 dólares estadounidenses, destinados a necesidades identificadas por las propias comunidades, así como compromisos relacionados con

el acceso asequible a medicamentos, el intercambio de resultados y el fortalecimiento de capacidades locales (LeBaron von Baeyer et al., 2024).

La importancia de este modelo radica en que los beneficios no se dirigen únicamente a las personas que participan individualmente en una investigación, sino que pueden canalizarse hacia las comunidades. Esto resulta especialmente relevante en la investigación genómica, debido a que la información genética de una persona puede tener implicaciones para sus familiares y para grupos humanos con características históricas y genéticas compartidas. Por esta razón, algunos investigadores indígenas y especialistas en bioética han planteado que la investigación genómica debe incorporar mecanismos de participación y beneficio a nivel comunitario, además del consentimiento individual (Claw et al., 2018; LeBaron von Baeyer et al., 2024).

Otro ejemplo corresponde a Basecamp Research, empresa dedicada a la generación de bases de datos de secuencias de ADN y biodiversidad para aplicaciones biotecnológicas e inteligencia artificial. La empresa ha desarrollado acuerdos de acceso y distribución de beneficios que buscan regular el uso de recursos genéticos y de información de secuencias digitales. En 2024 estableció un acuerdo con el Gobierno de Camerún relacionado con información de secuencias digitales, en el que se contemplaron mecanismos de participación comunitaria y regalías cuando la información genética procedente del país sea utilizada para desarrollar aplicaciones comerciales. El acuerdo también incorporó acciones de fortalecimiento de capacidades, capacitación científica y apoyo a investigadores locales (Kasianov, 2024).

Estos casos muestran que la colaboración ética puede incorporar diferentes mecanismos de beneficio. En el ámbito de la biotecnología, estos pueden incluir regalías, participación accionaria, financiamiento para proyectos comunitarios, acceso preferente a productos desarrollados, capacitación, transferencia de tecnología, infraestructura científica y participación en investigaciones**.** La elección de estos mecanismos debe realizarse mediante procesos de consulta con las comunidades, debido a que las necesidades y prioridades pueden variar considerablemente entre territorios y pueblos indígenas (LeBaron von Baeyer et al., 2024).

Otro componente fundamental es la soberanía y gobernanza de los datos indígenas**.** En investigaciones genómicas, el material biológico y los datos derivados

de él pueden permanecer en bases de datos durante largos periodos y ser utilizados posteriormente para investigaciones diferentes a aquellas inicialmente planteadas. Por ello, los acuerdos de colaboración deben establecer claramente quién puede acceder a los datos, quién puede utilizarlos, cómo serán almacenados, durante cuánto tiempo y bajo qué condiciones pueden compartirse con terceros. Los marcos éticos desarrollados para la investigación con comunidades indígenas recomiendan que estas cuestiones se definan conjuntamente y que las comunidades puedan participar en las decisiones relacionadas con el manejo de sus datos (Claw et al., 2018).

La participación comunitaria también debe producirse desde las primeras etapas del proyecto. Esto significa que las comunidades deben tener la posibilidad de conocer los objetivos de la investigación, los procedimientos que se utilizarán, los posibles beneficios y riesgos y las formas en que se utilizarán sus muestras, conocimientos o información genética. Además, la participación debe mantenerse durante la ejecución del proyecto y después de obtener los resultados. El National Institutes of Health recomienda, para investigaciones con comunidades indígenas, establecer acuerdos sobre la gestión y el intercambio de datos antes de iniciar el estudio y adaptar dichos acuerdos a las políticas y preferencias de cada comunidad (National Institutes of Health, 2025).

En este sentido, el consentimiento informado debe complementarse con mecanismos de decisión colectiva cuando la investigación pueda afectar a la comunidad en su conjunto. La investigación científica puede generar información que trascienda al individuo y tenga implicaciones culturales, sociales o económicas para todo un pueblo. Por ello, los acuerdos éticos deben reconocer las estructuras de autoridad y las formas propias de organización de las comunidades, evitando que las decisiones sean tomadas exclusivamente por investigadores o instituciones externas (Claw et al., 2018).

Los modelos de colaboración ética también deben contemplar el reconocimiento de los conocimientos tradicionales**.** Las comunidades indígenas poseen conocimientos relacionados con plantas medicinales, microorganismos, semillas, alimentos, ecosistemas y prácticas de manejo del territorio que pueden tener potencial para investigaciones biotecnológicas. Cuando estos conocimientos contribuyen al desarrollo de un producto o proceso, su utilización debe realizarse respetando los

derechos de las comunidades y estableciendo mecanismos adecuados para reconocer y compartir los beneficios derivados de ellos.

En consecuencia, una colaboración ética en biotecnología no debe reducirse al establecimiento de un porcentaje económico. Aunque las regalías y otros beneficios monetarios son importantes, una relación verdaderamente equitativa también requiere participación en la toma de decisiones, transparencia, reconocimiento de los conocimientos tradicionales, protección de los datos, fortalecimiento de capacidades locales y acceso a los beneficios científicos y tecnológicos**.** La literatura sobre investigación genómica con pueblos indígenas destaca precisamente la importancia de combinar colaboración, competencia cultural, transparencia, fortalecimiento de capacidades y comunicación de resultados para construir relaciones de confianza (Claw et al., 2018).

Por lo tanto, los modelos de colaboración ética pueden contribuir a transformar la relación histórica entre comunidades indígenas y actores científicos o empresariales. En lugar de considerar a las comunidades únicamente como fuentes de información genética, recursos biológicos o conocimientos tradicionales, estos modelos permiten reconocerlas como socias y participantes activas en los procesos de innovación biotecnológica. Esto implica avanzar hacia relaciones de largo plazo en las que el conocimiento científico y los conocimientos indígenas puedan complementarse, garantizando al mismo tiempo la participación comunitaria, el respeto a los derechos colectivos y una distribución justa de los beneficios derivados de la investigación.

8. Participación comunitaria y sostenibilidad

8.1. Participación comunitaria como eje de la sostenibilidad en proyectos biotecnológicos

La participación comunitaria es la inclusión de actores locales en la toma de decisiones, el diseño y la implementación de proyectos biotecnológicos. Esto permite integrar conocimientos tradicionales con innovaciones científicas, proporcionando soluciones adaptadas al contexto local (Chambers, 1994). Además fortalece la aceptación social de tecnologías como los cultivos genéticamente modificados o las prácticas de biorremediación, que de otro modo podrían generar conflictos.

En términos de sostenibilidad, la biotecnología ofrece herramientas importantes para enfrentar desafíos globales como el cambio climático, la seguridad alimentaria y la conservación de recursos naturales. Por ejemplo, el desarrollo de cultivos

resistentes a sequías o plagas puede reducir el uso de agroquímicos y mejorar la productividad agrícola (Food and Agriculture Organization [FAO], 2017). Sin la intervención de las comunidades, estos desarrollos pueden generar desigualdades o conflictos sociales al imponer soluciones externas que no consideran las particularidades culturales locales.

La coadyuvancia de soluciones entre científicos y comunidades mejora la eficacia y sostenibilidad de los proyectos. Según Pretty (1995), los niveles altos de participación generan resultados más duraderos y empoderan a las poblaciones locales.

La sostenibilidad de los proyectos biotecnológicos depende de la participación activa de las comunidades indígenas. Los enfoques participativos permiten reducir conflictos y asegurar que las tecnologías sean culturalmente apropiadas. Existe una brecha entre los desarrolladores tecnológicos y las comunidades, lo que limita el impacto positivo de estas iniciativas (Red TECLA, 2024). La biotecnología, cuando se implementa de forma inclusiva y participativa, contribuye a la seguridad alimentaria, la conservación ambiental y el desarrollo local sostenible.

8.2 Codiseño intercultural en biotecnología

A partir del análisis integrado de los casos documentados en la sección 4 y los marcos de gobernanza examinados en la sección 7, se propone un **modelo de codiseño intercultural** que articula tres dimensiones interdependientes para orientar proyectos biotecnológicos en contextos indígenas:

Dimensión epistémica: reconoce el conocimiento tradicional como sistema de saber equivalente al conocimiento científico, no subordinado. Lo cual implica que los protocolos de investigación deben partir del reconocimiento de que las comunidades poseen sistemas de conocimiento validados por generaciones, y que la integración entre ambos sistemas debe darse en condiciones de horizontalidad.

Dimensión procedimental*:* La implementación del consentimiento libre, previo e informado (CLPI) como proceso continuo, no como trámite inicial. Esto incluye mecanismos de toma de decisiones colectivas que respeten las estructuras de gobernanza comunitaria, y la adaptación de los cronogramas de investigación a los tiempos comunitarios y la transparencia en todas las etapas del proceso.

Dimensión distributiva: La adopción de mecanismos de participación en beneficios que trasciendan la compensación simbólica. Esto incluye regalías por

comercialización, propiedad intelectual compartida, acceso prioritario a innovaciones derivadas, y la soberanía sobre los datos generados, conforme a los principios C.A.R.E.

Este modelo, requiere validación empírica adicional a través de estudios de caso comparativos, ofrece un marco heurístico para diseñar, evaluar y escalar proyectos biotecnológicos en contextos indígenas desde un enfoque de justicia epistémica y distributiva.

Conclusiones

La biotecnología representa una herramienta con potencial para contribuir al bienestar y al desarrollo sostenible de las comunidades indígenas, especialmente en ámbitos relacionados con la conservación de la biodiversidad, la restauración de ecosistemas, la agricultura sostenible y el aprovechamiento de los recursos biológicos. Sin embargo, su incorporación en estos contextos no debe limitarse a la transferencia de tecnologías desarrolladas externamente, sino que debe considerar los conocimientos tradicionales, las prácticas culturales, las necesidades y las formas de organización propias de cada comunidad.

El análisis realizado permitió identificar cuatro principales áreas de aplicación de la biotecnología en contextos indígenas: la conservación de especies nativas, la restauración de ecosistemas y biorremediación, la agricultura sostenible y agroecología, y la genómica aplicada a la salud y al territorio. Estas áreas muestran que la biotecnología puede contribuir a enfrentar problemáticas ambientales, productivas y sociales; no obstante, su nivel de desarrollo y aplicación varía entre regiones y comunidades.

Asimismo, se reconoce que la relación entre biotecnología y comunidades indígenas presenta tanto oportunidades como desafíos. Entre las oportunidades se encuentran el fortalecimiento de la conservación de la biodiversidad, el mejoramiento de los sistemas productivos, la recuperación de ecosistemas degradados y la generación de alternativas para el desarrollo local. Al mismo tiempo, existen riesgos relacionados con la apropiación indebida de los conocimientos tradicionales y recursos genéticos, la biopiratería, la exclusión de las comunidades en la toma de decisiones y la posible afectación de prácticas y valores culturales. Por ello, cualquier iniciativa biotecnológica debe considerar principios de participación, consentimiento,

reconocimiento de los conocimientos tradicionales y distribución justa de los beneficios.

En este sentido, la participación de las comunidades indígenas debe constituir un elemento central en el desarrollo y aplicación de proyectos biotecnológicos. El conocimiento científico puede complementarse con los conocimientos ecológicos tradicionales, generando procesos de diálogo de saberes y coinnovación en los que las comunidades no sean únicamente beneficiarias o receptoras de tecnología, sino participantes activas en la identificación de problemas, diseño de soluciones, toma de decisiones y evaluación de resultados.

Finalmente, la aplicación responsable de la biotecnología en contextos indígenas requiere avanzar hacia modelos de desarrollo tecnológico incluyentes, sostenibles y culturalmente pertinentes. Esto implica establecer relaciones horizontales entre investigadores, instituciones y comunidades, respetar los derechos colectivos y los conocimientos tradicionales, fortalecer la autonomía comunitaria y garantizar que los beneficios derivados del uso de los recursos biológicos y genéticos sean compartidos de manera justa. De esta manera, la biotecnología puede contribuir no solo al desarrollo científico y tecnológico, sino también a la conservación de la diversidad biológica y cultural y a la construcción de alternativas de desarrollo que respondan a las necesidades y aspiraciones de las propias comunidades indígenas.

Declaración de Autoría y Contribución (CRediT)

Los autores de este artículo, Israel Osuna Flores, Arturo Rafael Armenta López,

Estela Sañudo Torres, Mario Guadalupe López Ayala y Xavier Eduardo Verdugo Contreras declaran que contribuyeron de manera distributiva en las siguientes actividades de acuerdo con la Taxonomía de Roles de Colaboración Académica (CRediT):

- **Conceptualización**: Israel Osuna Flores (50 %) Estela Sañudo Ayala (25 %), Arturo Rafael Armenta López (25 %).
- **Metodología:** Israel Osuna Flores (33 %) Mario Guadalupe López Ayala (33%) %), Arturo Rafael Armenta López (33 %).
- **Investigación / Recolección de datos:** Israel Osuna Flores (20 %), Arturo Rafael Armenta López (20 %), Xavier Eduardo Verdugo Contreras (20 %), Estela Ayala Sañudo (20 %), Mario Guadalupe López Ayala (20 %).
- **Análisis y Validación de datos:** Israel Osuna Flores (50 %), Arturo Rafael Armenta López (50 %).
- **Redacción – Borrador original:** Israel Osuna Flores (50 %), Arturo Rafael Armenta López (50 %).
- **Redacción – Revisión y edición:** Israel Osuna Flores (35 %), Arturo Rafael Armenta López (35 %), Estela Sañudo Ayala (10 %), Xavier Eduardo Verdugo Contreras (10%), Mario Guadalupe López Ayala (10%).
- **Visualización / Figuras:** No aplica.
- **Supervisión:** Israel Osuna Flores (5 %), Arturo Rafael Armenta López (50 %).
- **Financiamiento y recursos:** Israel Osuna Flores (20 %), Arturo Rafael Armenta López (20 %), Estela Sañudo Ayala (20%), Mario Guadalupe López Ayala (20%), Xavier Eduardo Verdugo Contreras (20 %).

Los autores aprueban la versión final del manuscrito y se responsabilizan de la integridad de todo el trabajo presentado.

Referencias

Alarcón-Lavín, R. R. (2010). La biopiratería de los recursos de la medicina indígena tradicional en el Estado Chiapas, México: El caso ICBG-Maya. Revista Pueblos y Fronteras Digital, 5(10), 151–180. https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2010.10.149

Anderson, M. Z., Tsosie, K. S., Peters, C. L., Trinidad, S. B., McCartney, A., Fernandez, S., Dale, K. J., Perez Rivera, S., Banta, C., Bhattacharyya, O., Billy, J., Brennan, R., Cu:k Ba'ak, R., Dhein, K., Dickinson, R., Ducheneaux, G., Gerth, A., Hernandez-Hernandez, K., Howard, D. S., Parasidis, E., Thomas, N. A., & Yracheta, J. M. (2025). A Tribal data repository to advance Indigenous health and sovereignty. Nature Genetics, 57, 2614–2619. https://doi.org/10.1038/s41588-025-02382-0

Bellon, M. R., Mastretta-Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Ortiz-Santamaría, D., Oliveros-Galindo, O., Perales, H., Acevedo, F., & Sarukhán, J. (2018). Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican campesinos. Proceedings. Biological sciences, 285(1885), 20181049. https://teebweb.org/wp-content/uploads/2021/07/rspb.2018.1049.pdf

Bocco, G., Velázquez, A., & Torres, A. (2000). Ciencia, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Un caso de investigación participativa en México. Interciencia, 25(2), 64–70. https://www.redalyc.org/pdf/339/33904403.pdf

Carrillo-Pérez, E., Ruiz-Manríquez, A., & Yeomans-Reina, H. (2004). Aislamiento, identificación y evaluación de un cultivo mixto de microorganismos con capacidad para degradar DDT. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 20(2), 69–75. https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/23121

Chambers, R. (1994). Participatory rural appraisal (PRA): Analysis of experience. World Development, 22(9), 1253–1268. https://doi.org/10.1016/0305-750X(94)90003-5

Claw, K. G., Anderson, M. Z., Begay, R. L., Tsosie, K. S., Fox, K., & Garrison, N. A. (2018). A framework for enhancing ethical genomic research with Indigenous communities. Nature Communications, 9, 2957. https://doi.org/10.1038/s41467-018-05188-3

Conforme-García, M. M., Dávila-Ulloa, M., Sarango-Ordóñez, J. P., & Medina-Gahona, G. A. (2024). Estrategias de Biotecnología Verde: Hacia una Recuperación Sostenible de Bosques Amazónicos. Código Científico Revista De Investigación, 5(E3), 119–144. https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/313

Convention on Biological Diversity (CBD). (2025). Cali Fund operational framework: Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. CBD/COP/DEC/16/2. https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-16/cop-16-dec-02-en.pdf

De la Garza & Camino, M. (2025). Genómica de poblaciones y tradición indígena. Dilemas éticos. Estudios de Cultura Maya, 66, 283–292. https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.66.2025/fall-wint/1480

Edwards, N., McLester-Davis, L. W. Y., Kline, C., Brown, A., Caron, N. R., & Parr-Brownlie, L. C. (2025). Towards the implementation of Indigenous data governance in neurogenomics research. Nature Neuroscience, 28(12), 2171–2174. https://doi.org/10.1038/s41593-025-02070-6

Fondo para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de América Latina y el Caribe (FILAC). (2021). Pueblos indígenas deben ser actores claves en la ciencia, la tecnología y la innovación. https://www.filac.org/pueblos-indigenas-deben-ser-actores-claves-en-la-ciencia-la-tecnologia-y-la-innovacion/

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges. https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf

Hernández-Vicente, P. O. (2025). La etnobiología y el impacto actual en los pueblos indígenas. Con Ciencia Serrana: Boletín Científico de la Escuela Preparatoria Ixtlahuaco, 7(13), 8–9. https://doi.org/10.29057/ixtlahuaco.v7i13.14068

Kasianov, A. (2024). [Acuerdo de acceso y distribución de beneficios de Basecamp Research con Camerún]. Basecamp Research. https://www.biopharmatrend.com/news/basecamp-research-partners-with-cameroon-to-share-benefits-from-genetic-data-use-in-landmark-agreement-904/

Keleman, A., Hellin, J., & Bellon, M. R. (2009). Maize diversity, rural development policy, and farmers' practices: Lessons from Chiapas, Mexico. The Geographical Journal, 175(1), 52–70. https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2008.00314.x

Larqué-Saavedra, A. (2016). Biotecnología prehispánica en Mesoamérica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(5), 1047–1060. https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v39n2/0187-7380-rfm-39-02-00107.pdf

LeBaron von Baeyer, C., et al. (2024). Why community consultation matters in genomic research benefit-sharing models. Frontiers in Genetics. . https://doi.org/10.1101/gr.278308.123

López-García, A., Gómez-Hernández, M., & Gándara, E. (2024). Variation in traditional knowledge of culturally important macromycete species among three indigenous communities of Oaxaca, Mexico. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 20, 38. https://doi.org/10.1186/s13002-024-00679-8

López, E., & Quintero-Jiménez, A. (2025). Implicaciones bioéticas en el uso de la biotecnología para la conservación de agaves en Hidalgo. Biotecnia, 27(1), 45–54. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v27.2432

National Institutes of Health. (2025). Considerations for researchers working with Tribal communities: Sovereignty, ethics, and data-sharing issues. U.S. Department of Health and Human Services. https://cascadiacopeshub.org/wp-content/uploads/2025/05/harding-et-al-conducting-research-with-tribal-communities-sovereignty-ethics-and-data-sharing-issues.pdf

Ortiz Monasterio Quintana, A. (2006). ¿Entre la espada y la pared? Conocimiento indígena y bioprospección en México. Ciencias, 83, 42–52. https://www.redalyc.org/pdf/644/64408308.pdf

Osuna-Flores, I., & Sañudo-Ayala, E. (2024). Biotecnología Intercultural en México. Revista Propuesta Ambiental, 2(1), 32–41. Recuperado de: https://zenodo.org/records/14052354

Pankararu, C. J., Teixidor-Toneu, I., Odonne, G., Asante, F., Bandeira, S. O., Barrera-Bello, Á. M., Benitez-Capistros, F. J., Dahdouh-Guebas, F., Dalcin, E., Dennehy-Carr, Z. H., Diallo, K., Drouet-Cruz, H. T., Fonseca-Kruel, V. S., Gallois, S., Gnansounou, S. C., Hamza, A. J., Hugé, J., Jordan, F. M., Kalle, R., Khan, N. I., Kuijper, I., Levis, C., Lima, A. S., Mattalia, G., Milliken, W., Munga, C. N., Narchi, N. E., Ngeve, M. N., Ofori, S. A., Phartyal, S. S., Peroni, N., Pironon, S., Polanía, J., Prakofjewa, J., Toledo Silva, M., Sõukand, R., Thomas, M. B., Ulian, T., Uprety, Y., Vandebroek, I., Ximenes, A. C., Zank, S., & Hanazaki, N. (2026). A global biodiversity use data infrastructure acknowledging indigenous and local knowledge. npj Biodiversity, 5, 7. https://doi.org/10.1038/s44185-026-00121-0

Pinhanez, C., Cavalin, P. R., Storto, L., Finbow, T., Cobbinah, A., Nogima, J., Vasconcelos, M., Domingues, P., de Souza Mizukami, P., Grell, N., Gongora, M., & Gonçalves, I. (2024). Harnessing the power of artificial intelligence to vitalize endangered Indigenous languages: Technologies and experiences. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.12620

Pretty, J. N. (1995). Participatory learning for sustainable agriculture. World Development, 23(8), 1247–1263. https://doi.org/10.1016/0305-750X(95)00046-F

Raíces Indígenas. (2024). Semillas del futuro: Biotecnología en el rescate de variedades indígenas. https://raicesindigenas.net/interseccion-con-la-tecnologia/semillas-futuro-biotecnologia-rescate-variedades-indigenas/

Red de Evaluación Social de Tecnologías en América Latina (Red TECLA). (2024). Evaluación de biotecnologías en comunidades campesinas e indígenas. https://www.biodiversidadla.org/Campanas-y-Acciones/Evaluacion-de-biotecnologias-en-comunidades-campesinas-e-indigenas

Roblada Mancilla, S. A., Gavilanes Santillán, L. A., González Gallegos, M. de L., González Figueroa, R., Cárdenas Rodríguez, E., & Heinze, A. (2024). Experiencias en el uso de bioinsumos para la salud y la regeneración ecosistémica y comunitaria. Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia Y Sociedad, 2(2), 245-261. https://revistaenfoques.ciatej.mx/index.php/revistaenfoques/article/view/51

Rojas, D. D. A., & Nemogá, S. G. R. (2021). Bioética en los procesos de investigación y bioprospección: relaciones con pueblos indígenas y comunidades locales en Colombia. Revista Colombiana de Bioética, 16(1). https://doi.org/10.18270/rcb.v16i1.3249

Salceda, S. A., Desántolo, B., & Plischuk, M. (2015). Espacio de reflexión: el por qué y para quién de la investigación bioantropológica. Revista Argentina de Antropología Biológica, 17(2), 1–6. https://doi.org/10.17139/raab.2015.0017.02.06

Sardi, M. L., & Azpiroz-Cleñan, V. (2024). Ética, antropología biológica y pueblos indígenas: Reflexiones desde el diálogo de saberes. Revista Uruguaya de Antropología y Etnografía, 9(2). https://doi.org/10.29112/ruae.v9i2.2326

Silva-Flores, L. (2024). Innovación social y desarrollo local sostenible: el caso de la comunidad indígena de Tlajomulco. Estudios de la Gestión, (16). https://doi.org/10.32719/25506641.2024.16.1

Teran, M. Y. (2023). Los pueblos indígenas expresan su preocupación por la biología sintética. Cultural Survival Quarterly. https://www.culturalsurvival.org/es/publications/cultural-survival-quarterly/los-pueblos-indigenas-expresan-su-preocupacion-por-la