



PLANTAS EN LA BIOTECNOLOGÍA: CULTIVOS TESORO DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA

Jessica Paola Sánchez Moreno
Dayanna Carolina Ñacato Chicaiza
Ana Lucía Bravo Cazar

Diego Alejandro Nieto Monteros
Enith Vanessa Yánez Ramírez
Nathaly Maldonado-Taípe



Ikiam 
Universidad Regional Amazónica

Revisión Técnica:
Editorial CEDIA

Diseño y diagramación:
Paz Cordero González

Corrección de Estilo:
Editorial CEDIA

Coordinación:
Laura Malache S. - Editorial CEDIA

Fotografías de Portada:
Dr. Diego Nieto Monteros

Una publicación de la Editorial CEDIA,
arbitrada por pares académicos de doble ciego.

cedia

Ikiam
Universidad Regional Amazónica

CEDIA

Gonzalo Cordero 2-111 y
J. Fajardo
Cuenca – Ecuador
cedia.edu.ec

**UNIVERSIDAD REGIONAL
AMAZÓNICA**

Parroquia Muyuna, kilómetro 7 vía
a Alto Tena
Tena - Ecuador
ikiam.edu.ec

Primera edición

ISBN: 978-9942-8795-5-4

DOI: <https://doi.org/10.48661/S52N-HT04>

Tena, Ecuador
Septiembre de 2024

Citación:

Sánchez Moreno, P., Ñacato Chicaiza, D. C., Bravo-Cazar, A. L., Nieto Monteros, D. A., Yáñez, E., & Maldonado Taípe, N. F. (2024). PLANTAS EN LA BIOTECNOLOGÍA: CULTIVOS TESORO DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA (Version 1). Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia. <https://doi.org/10.48661/S52N-HT04>



This book is licensed by Creative Commons,
Attribution-NonCommercial 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Plantas en la Biotecnología:

**Cultivos tesoro de la
Amazonía Ecuatoriana**

**EDITADO POR:
Nathaly Maldonado Taipe**

Prólogo

En estas páginas se ofrece un compendio detallado de conocimiento, producto de una investigación exhaustiva. Más que un mero resultado de indagaciones, este libro se erige como una herramienta para académicos de todos los niveles y profesionales del área. Con un enfoque claro, utilitario y accesible, los autores presentamos una exploración de cultivos amazónicos y sus aplicaciones biotecnológicas.

Hemos simplificado nuestro enfoque centrándonos en unos pocos cultivos "tesoro" para que el lector pueda comprender fácilmente el inmenso valor de las plantas en la Amazonía. Estos cultivos "tesoro" son ejemplos representativos de la biodiversidad amazónica, ampliamente reconocidos a nivel internacional, y sirven como punto de partida para discutir temas como su gestión, la aplicación de la biotecnología y consideraciones éticas. Al enfocarnos en estos cultivos, abrimos el debate y exploramos las posibilidades para comprender mejor la riqueza de la flora amazónica. Así, este libro aborda cinco cultivos distintivos: el cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*), la guayusa (*Ilex Guayusa*), la ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*), el chuchuguazo (*Maytenus laevis*) y la yuca (*Manihot esculenta*).

La presente obra comprende cuatro capítulos. El primer capítulo explora la descripción botánica de los cultivos seleccionados, su distribución geográfica e importancia social y económica. En el segundo capítulo se desarrolla contenido sobre usos tradicionales y los conocimientos ancestrales asociados a ellos. El tercer capítulo trata directamente con las aplicaciones biotecnológicas asociadas a estas plantas. Finalmente, el último capítulo abarca conceptos de amenazas a la biodiversidad, biopiratería, marcos políticos y legales y tecnologías de conser-

vación enmarcados en el uso comercial de los cinco cultivos. Para facilitar la comprensión del contexto de la información presentada, a lo largo del libro se incluyen notas al pie con detalles explicativos.

Este libro fue escrito con la contribución de varios profesionales, quienes cuentan con distinguidas trayectorias y tienen afiliación actual a la Universidad Regional Amazónica Ikiam (Ecuador):

- Ana Lucía Bravo Cazar, Doctora en Ciencias de las Plantas por la Universidad de Cambridge (Inglaterra) con enfoque en patología molecular. Maestra en Ciencias de Biotecnología de Cultivos y Emprendimiento por la Universidad de Nottingham e Ingeniera en Procesos Biotecnológicos por la Universidad San Francisco de Quito (Ecuador). Tiene amplia experiencia académica y profesional en biotecnología agrícola. Sus intereses se enfocan en el estudio de las interacciones planta-microorganismos y planta-insectos con el objetivo de buscar alternativas sostenibles aplicados al manejo de cultivos de en la agricultura ecuatoriana.
- Nathaly Maldonado Taipe, Doctora en Ciencias de la Agricultura, con especialidad en Fitomejoramiento y Genética, Maestra en Agroingeniería por la Universidad de Kiel (Alemania) e Ingeniera Agroindustrial en la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador). En la Universidad de Kiel realizó estudios postdoctorales y se desempeñó como docente de maestría. Actualmente es directora del Grupo de Investigación Traslacional en Plantas.
- Diego Alejandro Nieto Monteros, Doctor en Ingeniería de Bioprocesos y Biotecnología por la Universidad Federal de Paraná (Brasil), Maes-

tro en Ciencias en Bioprocesos por el Instituto Politécnico Nacional (México) e Ingeniero en Procesos Biotecnológicos por la Universidad San Francisco de Quito (Ecuador). Actualmente se desempeña como Docente-Investigador en la carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Regional Amazónica Ikiam (URAI). Además, es integrante del grupo de investigación Biomass to Resources de la URAI, siendo su área de investigación el aprovechamiento de residuos agrícolas y agroindustriales mediante bioprocesos para la elaboración de bioproductos.

- Carolina Ñacato, Maestra en Gestión Integral de Laboratorios de Química por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Tiene experiencia en el apoyo técnico en el área de la Química. Su área de investigación se ha centrado principalmente en el análisis de contaminantes emergentes y en la biorremediación de agua residuales.
- Jessica Paola Sánchez Moreano, Maestra en Agricultura por la FAFU (China) e Ingeniera Agrónoma por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador). Cuenta con experiencia profesional en diseño e implementación de sistemas de riego, en consultorías referentes a cálculos de requerimientos hídricos de cultivos y diseño de sistemas y horarios de riego para Juntas de Regantes. Ha realizado capacitaciones a agricultores en temas de manejo de suelo y agua. Actualmente es Docente universitaria en las cátedras de Fisiología y Nutrición Vegetal, Entomología y Semillas.
- Vanessa Yáñez, Maestra en Gestión Ambiental y Energética por la Universidad Internacional de la Rioja (España) e Ingeniera Química por la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador). Ha trabajado en la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente se desempeña como Docente en la Facultad de Ciencias de la Vida en la Universidad Regional Amazónica (IKIAM) y es miembro del Grupo de Investigación Traslacional en Plantas.

La colaboración de autores que se desempeñan en el campo de las ciencias de la vida, así como en subcampos multifacéticos, ha enriquecido sustancialmente el contenido de este libro. A través de estas páginas, los autores comparten sus perspectivas, evaluaciones y hallazgos, con la aspiración de promover el potencial de la biotecnología en su aplicación en la Amazonía.

Nathaly Maldonado Taipe.

La principal razón que nos ha impulsado a escribir este libro es el asombroso potencial que encierra la Amazonía, destacando no solo su inmensa biodiversidad, sino también su prometedora contribución en el campo de la biotecnología. Este ecosistema único en el mundo alberga una extraordinaria riqueza botánica y diversidad biológica que ha cautivado a cada uno de los autores.

La Amazonía no solo es el pulmón verde de nuestro planeta, sino que también representa un tesoro inexplorado de aplicaciones innovadoras. Desde la búsqueda de compuestos para tratamientos médicos hasta soluciones sostenibles para desafíos globales, la región ofrece un sinfín de posibilidades. El propósito de este libro es aumentar la conciencia sobre el valor de la Amazonía a través de la exploración de algunos de sus cultivos más emblemáticos. Queremos compartir conocimientos actualizados y perspectivas diversas para que científicos, estudiantes, responsables de políticas y amantes de la naturaleza comprendan la importancia de esta región y las oportunidades que ofrece. A través de voces y experiencias colectivas, buscamos guiar a los lectores en un fascinante recorrido por los cultivos “tesoro” de la Amazonía.

Nuestro compromiso no se detiene en la divulgación del conocimiento existente; también abarca la promoción de la investigación y la innovación. Al explorar aplicaciones biotecnológicas actuales, aspiramos a motivar a la próxima generación de científicos a desarrollar soluciones innovadoras beneficiosas tanto para la humanidad como para el medio ambiente. Estas soluciones no solo son relevantes para los

cultivos mencionados en este libro, sino que también tienen el potencial para aplicarse en la inmensa diversidad vegetal que se halla en la región.

Con este libro buscamos informar, educar e inspirar a apreciar, respetar y proteger la Amazonía y su potencial. Nuestra dedicación proviene de la convicción de que la Amazonía es un regalo invaluable que merece ser explorado, comprendido y preservado para las generaciones futuras. La Amazonía, con sus plantas y su biodiversidad, espera ser descubierta y respetada.

Esperamos que este libro inspire no solo la mente, sino también el corazón, para que juntos podamos asegurar un mañana mejor, tanto para la Amazonía como para toda la vida en la Tierra.

Enith Vanessa Yáñez Ramírez.

Resumen

En este libro investigamos cinco cultivos icónicos que han prosperado en el corazón de la selva amazónica ecuatoriana, una región de exuberantes selvas y una biodiversidad incomparable, donde la riqueza agrícola ha sido fundamental para el sustento de las poblaciones indígenas a lo largo de milenios. Los cinco cultivos incluyen: el cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*), guayusa (*Ilex guayusa*), ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*), chuchuguazo (*Maytenus laevis*) y la yuca (*Manihot esculenta*).

En el capítulo uno, se presentan los cultivos y se exploran datos relevantes de su distribución en el mundo, domesticación y estadísticas de producción. A continuación, se ofrece una descripción botánica que incluye información sobre morfología, estructura, hábitat, distribución geográfica, ciclo de vida, relaciones filogenéticas y cualquier otra característica relevante documentada en la bibliografía. La introducción concluye con un análisis de la importancia del cultivo en la sociedad y su impacto en la economía.

Después de familiarizarnos con las generalidades de los cultivos, se exploran los conocimientos ancestrales asociados a ellos, así como sus usos tradicionales y etnobotánica. El capítulo dos se centra en los usos medicinales tradicionales, rituales, festivos, entre otros aspectos interesantes del papel social que desempeñan estas especies. De esta manera, se busca destacar la importancia de estas plantas no sólo a nivel comercial, sino también cultural y preparar el desarrollo del siguiente tema: Aplicaciones Biotecnológicas, dentro del contexto amazónico.

El apartado sobre Aplicaciones Biotecnológicas resalta la creciente importancia de esta disciplina como una herramienta efectiva para abordar una amplia gama de desafíos en campos diversos, desde la medicina hasta la agricultura y la conservación ambiental. Se explorarán temas como el cultivo *in vitro*, la genética funcional, las técnicas de biología molecular y el uso de bioinsumos, destacando los avances logrados en cinco cultivos representativos. En el caso de la ayahuasca y el chuchuguazo, el contenido se diversifica en estudios sobre su fitoquímica. Este capítulo –que posiblemente constituye el núcleo central de la obra– revela, a través de ejemplos, el camino para desarrollar productos y procesos que benefician a la sociedad.

El avance en biotecnología presenta una dualidad: puede contribuir al cuidado o, por el contrario, poner el riesgo su preservación, dependiendo de los métodos y aplicaciones utilizados. Por ello, el último apartado de este trabajo cubrirá temas como la conservación de la biodiversidad, el manejo de recursos genéticos, el acceso equitativo y la distribución de beneficios. También se explorarán cuestiones relacionadas con la bioprospección y la biopiratería, junto con el marco legal y político, así como las tecnologías para la conservación de la biodiversidad. Se pretende destacar los posibles impactos positivos de la aplicación de la biotecnología en ecosistemas frágiles como la Amazonía Ecuatoriana, con el fin de informar al lector sobre las ventajas de la innovación biotecnológica y los métodos para asegurar su aplicación de manera ética y responsable.

Índice

Prólogo
Resumen

- | | | |
|----------|--|----|
| 1 | Generalidades: descripción botánica, distribución geográfica e importancia socioeconómica | 10 |
| | 1.1. Cacao fino de aroma, <i>Theobroma cacao</i> . | |
| | 1.2. Guayusa, <i>Ilex guayusa</i> . | |
| | 1.3. Ayahuasca, <i>Banisteriopsis caapi</i> . | |
| | 1.4. Chuchuguazo, <i>Maytenus laevis</i> . | |
| | 1.5. Yuca, <i>Manihot esculenta</i> . | |
| 2 | Conocimientos ancestrales, usos tradicionales y etnobotánica | 30 |
| | 2.1. Cacao, <i>Theobroma cacao</i> . | |
| | 2.2. Guayusa, <i>Ilex guayusa</i> . | |
| | 2.3. Ayahuasca, <i>Banisteriopsis caapi</i> . | |
| | 2.4. Chuchuhuasi, <i>Maytenus laevis</i> . | |
| | 2.5. Yuca, <i>Manihot esculenta</i> . | |
| 3 | Aplicaciones biotecnológicas | 28 |
| | 3.1. Herramientas de la biotecnología: generalidades. | |
| | 3.2. Herramientas de la biotecnología aplicadas a cultivos de la Amazonía ecuatoriana. | |
| 4 | Conservación de la biodiversidad y los recursos genéticos | 70 |
| | 4.1. Conservación de la biodiversidad. | |
| | 4.2. Recursos genéticos. | |
| | 4.3. Bioprospección y biopiratería. | |
| | 4.4. Marcos políticos y legales. | |
| | 4.5. Conclusión. | |

Generalidades: descripción botánica, distribución geográfica e importancia socioeconómica

Jessica Paola Sánchez Moreno

La región Amazónica, con su vasta extensión de selvas exuberantes y biodiversidad incomparable, alberga una riqueza agrícola que ha sustentado a las poblaciones indígenas durante milenios. En este capítulo, exploraremos las características generales de cinco cultivos emblemáticos que han florecido en el corazón de la selva amazónica ecuatoriana. Nos centraremos en el cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*), la guayusa (*Ilex guayusa*), la ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*), el chuchuguazo (*Maytenus laevis*) y la yuca (*Manihot esculenta*), analizando su descripción botánica, distribución geográfica e importancia social y económica.

1.1. Cacao fino de aroma, *Theobroma cacao*

Ecuador es el principal productor de cacao fino de aroma, con más del 70% de la producción mundial (Mosquera, 2021). Las áreas de cultivo se concentran en la región litoral y amazónica y, en menor medida, en las estribaciones de la Cordillera de los Andes (Loor et al., 2021). El cacao ecuatoriano se destaca por sus características organolépticas y su excelente sabor, propiedades que son reconocidas a nivel mundial (Rosado et al., 2022).

1.1.1. Distribución geográfica

El cacao es una planta originaria de América Central y América del Sur. El cacao fino de aroma, en particular, proviene de Sudamérica, aunque su domesticación se realizó principalmente en Mesoamérica (Figura 1) (Zhang & Motilal, 2016). La domesticación del cacao fue clave para su integración en la cultura y vida cotidiana de la región. Se ha demostrado que las culturas azteca y maya utilizaban el cacao para preparar una bebida conocida como “xocolātl” en lengua náhuatl¹ (Graziani et al., 2002), que tenía un gran significado cultural y religioso. El cacao se usaba en rituales y celebraciones; su consumo estaba relacionado estrechamente con aspectos ceremoniales y espirituales antes que con aspectos nutricionales (Montagna et al., 2019; Moss & Badenoch, 2009) (véase sección 2.1. Cacao, *Theobroma cacao*).

El cacao llegó a Europa a través de la conquista española del territorio americano, y fue en el antiguo continente donde se le dio realce a este producto debido a sus cualidades gustativas, comenzando a consumirse como una bebida azucarada caliente.

1. Náhuatl: uno de los idiomas más hablados dentro del tronco Azteca.

Posteriormente, entre los siglos XVIII y XIX, el cacao se extendió a nuevas regiones tropicales, como el Caribe y ciertas zonas de África y Asia, lo que implicó un crecimiento significativo en el comercio global del cacao (Hackenesch, 2011). Finalmente, la industrialización del cacao tuvo su auge a finales del siglo XX, permitiendo la mejora de las técnicas de procesamiento del chocolate. Esto resultó en una mayor demanda de cacao de muy alta calidad, donde los granos de diferentes variedades se convirtieron en ingredientes codiciados (Verna, 2013).

Actualmente, la producción de cacao fino de aroma se concentra en regiones como Ecuador, Venezuela, Perú y en ciertos países africanos como Costa de Marfil, Ghana y Madagascar (Figura 1). Algunos de estos países han ganado reconocimientos internacionales por su alta calidad de granos de cacao (Saravia et al., 2020). En el caso del cacao fino de aroma de origen ecuatoriano, obtuvo la certificación de denominación de origen en el año 2009, destacando a la provincia amazónica de Zamora Chinchipe (Cantón Palanda) como su centro de origen (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao del Ecuador, 2023).

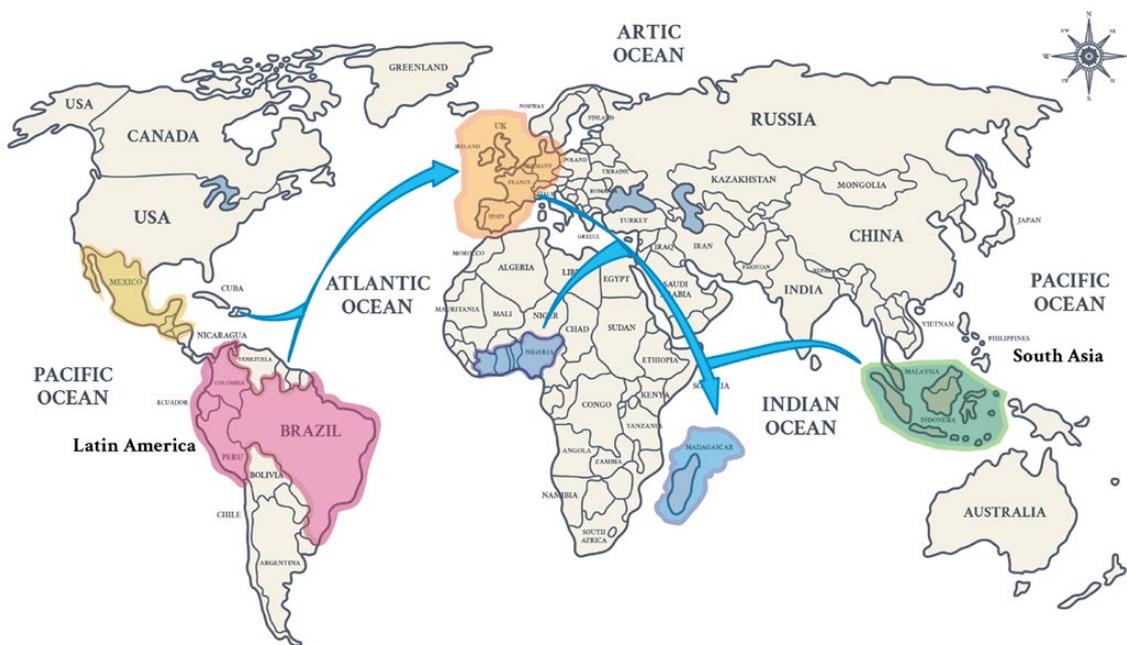


Figura 1. Ruta de distribución del cacao en el mundo.

Las áreas sombreadas indican: en rojo, la región de origen; en amarillo, la zona de domesticación; en anaranjado, la introducción a

Europa; y en azul y verde, la distribución desde Europa. Las flechas azules muestran la dirección de la migración del cultivo.

1.2.2. Descripción botánica

La planta de cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol leñoso y semicaducifolio² perteneciente a la familia Malvaceae (Rojas et al., 2012). El cacao fino de aroma proviene de esta especie, aunque no todas las variedades son iguales. La denominación “fino de aroma” se da por factores genéticos, ambientales y de procesamiento que convergen en el desarrollo de sabores y aromas característicos (Beckett, 2019).

La planta de cacao tiene una raíz principal de tipo pivotante que proporciona su anclaje al suelo y alcanza una profundidad de 2 metros. El tronco es glabro³ aunque en los ejes jóvenes es parcialmente pubescente⁴. El tronco alcanza una altura entre 0.80 y 1.5 m, con un crecimiento vertical, especialmente cuando se desarrolla a partir de una semilla. Una vez que alcanza esta altura, la planta adopta una

2. Caducifolio: cuyas hojas caen en una estación determinada.

3. Glabro: lampiño.

4. Pubescente: veloso

forma similar a un molinillo o mesa (Dostert et al., 2012; Paredes et al., 2022; Sacoto et al., 2022). No obstante, la forma de la planta depende de las podas realizadas por el agricultor durante el ciclo productivo (Paredes et al., 2022; Quiroz et al., 2021).

Las hojas del cacao son enteras, simples, coriáceas⁵, alargadas, ligeramente asimétricas, alternas y glabras. Su longitud oscila entre 17 y 48 cm, con un ancho de 7 a 10 cm. La base de las hojas es redondeada a ligeramente acordada y el ápice es largamente apiculado (Dostert et al., 2012; Quiroz et al., 2021).

Las flores del cacao tienen un diámetro de entre 10 y 20 mm. Son caulinares, es decir que se originan directamente desde el tallo y tienen un pedúnculo floral de 1

a 3 cm de longitud. Las flores son cimosas⁶, hermafroditas y actinomorfas⁷. Los estambres están fusionados en la base, conformando un tubo (Lachenaud et al., 2005). Los sépalos de la flor del cacao miden entre 6 y 9 mm de longitud, son de color amarillento, libres y poseen de dos a tres nervios violetas. La parte inferior de los sépalos puede ser redondeada, apiculada o abruptamente atenuada (Dostert et al., 2012) (Figura 2). La flor polinizada produce un fruto que es una baya polimórfica, entre esférica a fusiforme⁸, protegida externamente por el pericarpio. Este fruto, conocido como mazorca, contiene semillas en su interior que están dispuestas en hileras alrededor de un eje central conocido como placenta (López et al., 2019).

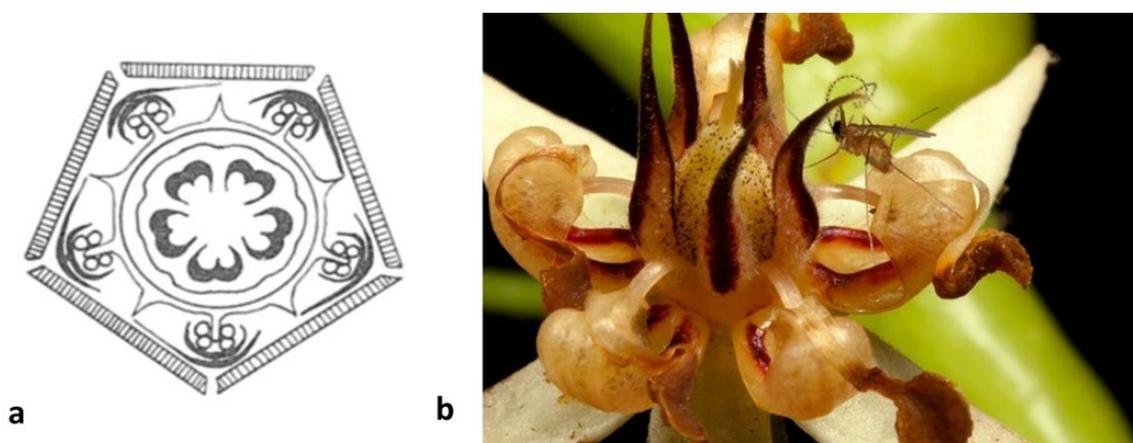


Figura 2. a) Diagrama floral del cacao. b) *Forciphomyia* sp. sobre una flor de cacao. Fuente: Lachenaud et al. (2005).

Los granos de cacao están cubiertos por un mucílago azucarado que se elimina durante su procesamiento. Cada mazorca contiene entre 20 y 50 semillas (Sacoto et al., 2022). La cáscara del cacao tiene diferentes coloraciones desde púrpura a amarilla; las medidas, coloraciones y pesos dependen de cada variedad. Sin embargo, por lo general, las tonalidades verdes en mazorcas inmaduras cambian a amarillas en su madurez, mientras que las rojas cambian a anaranjadas (Viet Ha et al., 2016).

Los grupos genéticos del cacao presentan una notable diferencia en la forma de sus mazorcas. Aunque actualmente se reconocen diez grupos genéticos de cacao, los más conocidos siguen siendo Criollo, Fo-

rastero, Trinitario, Nacional y Amelonado (Paredes et al., 2022) (Figura 3). En Ecuador, el cacao Nacional es el cultivar de mayor importancia debido a su antigüedad y calidad, pues cuenta con vestigios que indican su presencia en la Amazonía (zona de Palanda) de hace más de 5000 años (Sacoto et al., 2022). En la actualidad el Cacao Arriba tiene como denominación de origen al Ecuador, en la provincia de Zamora Chinchipe (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao del Ecuador, 2023). Por su parte, el cacao fino de aroma presenta mazorcas amelonadas⁹, cuya corteza es de color amarillo con estrangulaciones en la base y el ápice. Las mazorcas también tienen lomos y surcos poco profundos (Quiroz et al., 2021).

5. Coriáceas: consistencia similar al cuero.

6. Cimosas: que tienen un pedúnculo que termina en una sola flor o inflorescencia.

7. Actinomorfas: con simetría radial.

8. Fusiforme: con forma de huso.

9. Amelonado: de forma de melón.

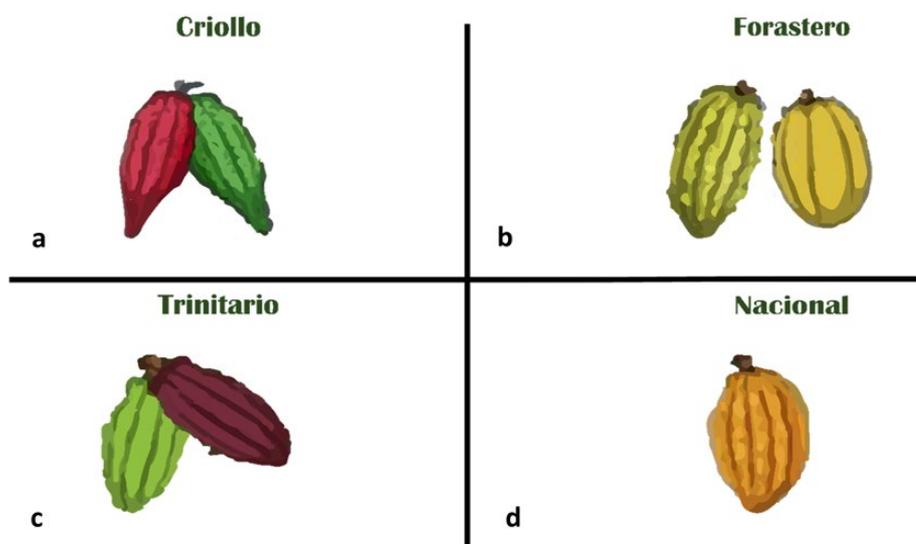


Figura 3. Mazorcas de cultivares: a) Criollo, b) Forastero, c) Trinitario y d) Nacional.

1.2.3. Importancia social y económica

El cacao es uno de los principales rubros de exportación del Ecuador. De acuerdo con el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca del Ecuador, en el año 2022, el cacao representó el 4.1% de los productos no petroleros exportados desde el Ecuador al mundo. Aunque este rubro experimentó un descenso del 5.8% en el precio unitario con respecto al 2021, se reportaron ingresos de 1003 millones de dólares, lo que equivale al 4.5% del total de ingresos por exportación de productos no petroleros.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería indica que, para el año 2022, la exportación de cacao contribuyó con el 6.9% del Valor Agregado Bruto (VAB) Agropecuario. La producción de cacao emplea a 397502 personas (75% hombres, 25% mujeres). Ecuador es el cuarto productor de cacao a nivel mundial, con el 10% de la producción total, detrás de Costa de Marfil y de Ghana. Sin embargo, Ecuador presentó un rendimiento de 0.66 t/ha, siendo superado por Perú (0.9 t/ha), pero situándose muy por encima de Ghana (0.56 t/ha) y Costa de Marfil (0.52 t/ha) (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023).

El cacao, a pesar de ser un producto de importan-

cia para el país, enfrenta varios problemas como la falta de asistencia técnica (León et al., 2016), la escasez de valor agregado (Cedeño & Ávila, 2021) y el precio que perciben los productores. Este precio se encuentra por debajo del precio de venta en el mercado (Anchundia, 2018), lo que lleva a una disminución de la producción y representa un riesgo significativo para el sector.

Aunque la mayor parte de áreas productivas de cacao en Ecuador se encuentran en las provincias costeras, en la Amazonía Ecuatoriana la producción de cacao fino de aroma ha significado un importante aporte económico para las familias amazónicas (Viteri Salazar, 2016). Además, la producción de cacao fino de aroma está asociada con prácticas agrícolas sostenibles (Coll & Dilas, 2022). En la Amazonía Ecuatoriana, Kallari es la organización pionera en apoyar la certificación en el sistema chakra¹⁰, así como en la comercialización, procesamiento, y elaboración de artesanías y nuevos productos para los productores de cacao fino de aroma. Su labor se centra en resaltar y preservar la producción de cacao bajo el sistema productivo Chakra (Kallari, 2024) (Figura 4).

10.Chakra Amazónica: sistema de policultivos con un alto nivel de biodiversidad que se conjuga con conocimientos ancestrales y cultura de las comunidades.



Figura 4. Área productiva de cacao.
Fuente: Kallari (2024).

La reputación del cacao fino de aroma ecuatoriano en el mercado internacional contribuye al prestigio del país como productor de cacao de alta calidad. Además, la calidad del cacao fino de aroma influye en la industria del chocolate, ya que chocolateros y

fabricantes de chocolate de todo el mundo buscan el cacao ecuatoriano para crear productos premium. Esto puede impulsar la innovación y fortalecer la presencia global de la industria del chocolate ecuatoriano.

1.2 Guayusa, *Ilex guayusa*

Ilex guayusa o guayusa pertenece a la familia Aquifoliaceae del orden Celastrales. Esta especie se destaca por sus usos medicinales, debido a su alta concentración de cafeína, que se considera una de las más elevadas del reino vegetal. Presenta una relación distante con la hierba mate (García et al., 2017).

1.2.1. Distribución geográfica

Ilex guayusa es originaria de la cuenca del Amazonas, donde crece de manera silvestre en los bosques tropicales húmedos de Ecuador, Perú y

Colombia, aunque también se ha registrado su presencia en Bolivia. La planta prefiere altitudes moderadas y se encuentra comúnmente en áreas con climas cálidos y húmedos. En Ecuador, la guayusa se encuentra principalmente en la provincia de Napo, pero también se cultiva en las provincias de Sucumbíos, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe (García et al., 2017) (Figura 5).



Figura 5. Origen y distribución de *Ilex guayusa*.

El área sombreada en verde representa el sitio de origen. La zona de color púrpura en el mapa de Ecuador indica las provincias donde se cultiva *Ilex guayusa*

(Sucumbiós, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe). La provincia de Napo, destacada en fucsia, es la región principal de cultivo.

La investigación sobre esta planta ha sido limitada. Aunque la guayusa es una planta silvestre, el conocimiento actual sugiere que todas las variedades conocidas fueron cultivadas a través de un proceso de domesticación, realizado por las poblacio-

nes amazónicas a lo largo de siglos. En la provincia de Napo, el cultivo de guayusa es tradicional y se remonta a siglos atrás, formando parte de la tradición agro-silvícola del pueblo Kichwa amazónico del Ecuador (Caicedo et al., 2019).

1.2.2. Descripción botánica

Ilex guayusa es un árbol que alcanza una altura promedio de hasta 10 metros. Posee una copa irregular y un follaje denso, con ramas glabras o subglabras¹¹, ocasionalmente fraccionadas y ligeramente estriadas. Las hojas, que son la parte comercialmente empleada, son oblongas u oblongo-elípticas, y raramente ovado-lanceoladas¹². Miden entre 8 y 21 cm de largo, y entre 6.5 a 7 cm de ancho, con un ápice agudamente acuminado.¹³ (Radice et al., 2016).

Las hojas son alternas, con márgenes ligeramente dentados. Su color es verde oscuro brillante en el haz y pálido en el envés; su consistencia es cartácea¹⁴ o submembranosa. Los nervios laterales, alrededor de 10 por cada lado, se disponen en un ángulo de aproximadamente 45 a 60 grados (García et al., 2017) (Figura 6).

11. Subglabras: casi glabras.

12. Ovado-lanceolada: larga, más ancha en la mitad.

13. Acuminado: forma cuyo ancho va disminuyendo gradualmente y termina en punta.

14. Cartácea: de consistencia de papel.

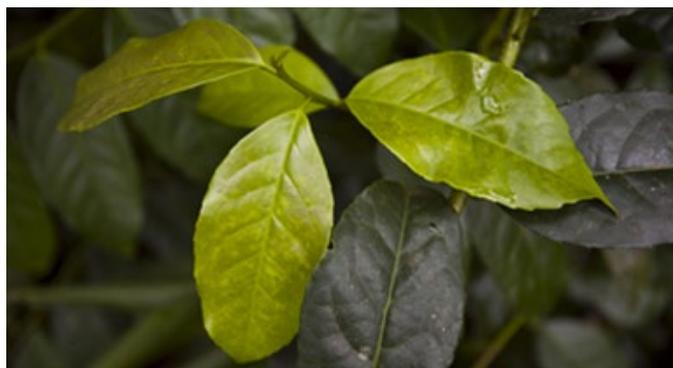


Figura 6. Hojas de *Ilex guayusa*.
Fuente: Fundación Runa (2024).

Las flores de *Ilex guayusa* son pequeñas, de color blanco o amarillento, y se agrupan en racimos. Tienen pétalos cortos y un cáliz con pequeños lóbulos. La época de floración es estacional, con períodos espe-

cíficos en los que se observa una mayor producción de flores (Figura 7). Los frutos son pequeñas drupas¹⁵ de color negro o morado oscuro, que contienen una única semilla en su interior (García et al., 2017).



Figura 7. Flores y frutos de *Ilex guayusa*.
Fuente: Munay Herbal (2024).

1.2.3. Importancia social y económica

En Ecuador, la producción tradicional de guayusa tenía como único propósito el consumo familiar. Sin embargo, con la apertura de carreteras y la colonización a partir de principios de los años 80, comenzaron a venderse collares de guayusa, que consistían en hojas atadas.

A fines de los años 90, hubo algunos intentos de procesar la guayusa para la elaboración de té, pero estas experiencias no tuvieron éxito. Desde enton-

ces, la única empresa ecuatoriana que ha estado produciendo té de guayusa es Aromas del Tungurahua (Figura 8). Gradualmente, se han retomado esfuerzos para consolidar la identidad territorial de la guayusa, especialmente en las provincias de Napo y Archidona, dando lugar a los lemas “La tierra de la guayusa y la canela” (Coello, 2013).

¹⁵.Drupas: frutos carnosos con hueso, en muchos casos con cubierta dura.



Figura 8. a) Leis, collar de guayusa. b) Guayusa comercial producida por Aromas del Tungurahua. Fuente: Aromas del Tungurahua (2024).

Desde el año 2010, la guayusa se exporta a Estados Unidos, un proceso complejo y desafiante en el que se ha buscado el comercio justo, la producción orgánica, la organización y asociación de los productores, así como la confianza y el cumplimiento de los estándares de Responsabilidad Social Empresarial (RSE) (Coello, 2013).

El cultivo de *Ilex guayusa* tiene el potencial de convertirse en una fuente significativa de ingresos para los agricultores ecuatorianos. Según un estudio de mercado, los productos derivados de guayusa han experimentado un aumento en la demanda, creando oportunidades comerciales para los agricultores locales (Krause & Ness, 2017). Entre los meses de septiembre de 2012 y junio de 2013, se observó un incremento aproximado del 15% en los ingresos familiares provenientes de la venta de guayusa. Este crecimiento sostenido de la producción puede atribuirse a la proliferación de viveros comunitarios e incluso viveros familiares. Se estima que alrededor del 50% de las comunidades cuentan con sus propios viveros (Arias Calderón, 2016).

El cultivo y procesamiento de guayusa crean empleo en las comunidades rurales. La cadena de valor de guayusa involucra a diversas personas, proporcionando oportunidades de empleo en áreas que a menudo enfrentan desafíos económicos; esta dinámica contribuye a la reducción de la migración rural-urbana y al fortalecimiento de las economías locales (Radice et al., 2016).

1.3 Ayahuasca, *Banisteriopsis caapi*

La especie *Banisteriopsis caapi*, comúnmente conocida como ayahuasca, es el ingrediente fundamental en la preparación de una bebida tradicional que lleva el mismo nombre y que es utilizada en ceremonias y rituales por diversas culturas indígenas de la Amazonía (véase sección 2.3. Ayahuasca, *Banisteriopsis Caapi*). La ayahuasca es una planta de gran interés cultural entre las comunidades de América del Sur (Smith et al., 2004). Esta enredadera pertenece a la familia Aceraceae, y está adaptada al clima tropical húmedo de la Amazonía (Rodd, 2008).

1.3.1 Distribución geográfica

El origen exacto de *Banisteriopsis caapi* es difícil de determinar debido a su amplia distribución en la región amazónica (Figura 9). Su presencia abarca varios países de la región, incluyendo Brasil, Perú, Colombia, Ecuador, Venezuela y partes de Bolivia (Politi et al., 2021). Se sabe que la planta crece pre-

ferentemente en áreas con climas tropicales y suelos ricos en nutrientes. Se ha observado que prospera mejor en zonas con alta humedad y temperaturas cálidas. La disponibilidad de la ayahuasca puede variar en función de factores climáticos como la altitud, la humedad y la geografía local (Cortez & Salazar, 2023).

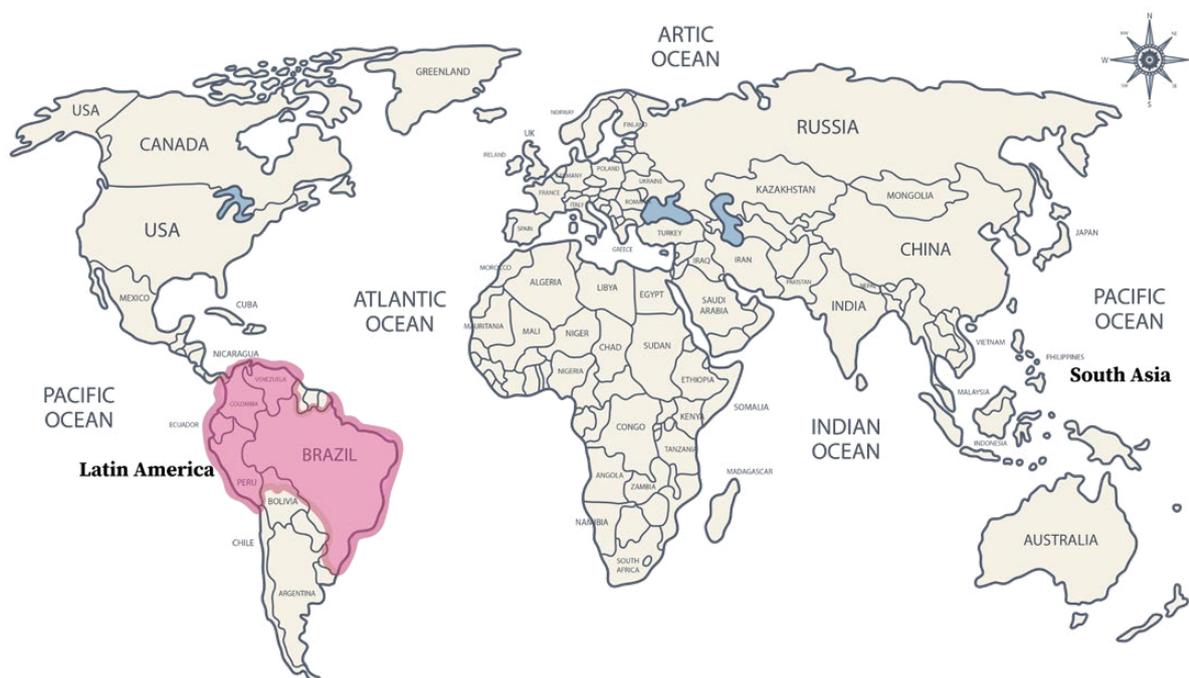


Figura 9. Origen de *Banisteriopsis caapi* (área sombreada en rojo).

1.3.2 Descripción botánica

Banisteriopsis caapi es una liana o bejuco, también conocida como ayahuasca, nombre que proviene del quechua y que se traduce como “liana de la vida o la muerte” (Politi et al., 2021). Esta planta se utiliza comúnmente como sustancia psicoactiva en diversos rituales religiosos y ceremoniales propios de las comunidades amazónicas (Smith et al., 2004). La planta alcanza una altura considerable cuando

madura. Su tallo es cilíndrico, de color marrón claro, con una superficie lisa y, en ocasiones, con pequeñas protuberancias (Figura 10). Además, posee ramas largas y fuertes que le permiten adherirse mejor al tronco, mejorando esta adherencia gracias a la presencia de entrenudos y yemas en cada nudo (Smith et al., 2004).



Figura 10. Planta de *Banisteriopsis caapi*.
Fuente: Dos Santos et al. (2015).

Las hojas son opuestas, ovaladas, de bordes enteros, ligeramente coriáceas y de color verde pálido. Las inflorescencias se producen en forma de racimos axilares, de color amarillo pálido, con cinco sépalos y pétalos. El fruto es una cápsula alargada que contiene numerosas semillas (Castro et al., 2016). Los tiempos de floración y fructificación pueden variar según los factores climáticos y ecológicos propios de cada localidad (Bravo Bernal, 2018).

1.3.3. Importancia social y económica

Esta especie juega un papel vital en la sociedad, ya que es una parte integral de las tradiciones culturales y espirituales de muchas comunidades indígenas de la selva sudamericana. Se utiliza en rituales ancestrales para conectar a las personas con sus creencias espirituales y su herencia cultural. Estos procesos se deben a que la ayahuasca activa áreas cerebrales asociadas a la memoria, la conciencia y la toma de decisiones (Poveda & Rivera, 2021).

Además, *Banisteriopsis caapi* se emplea como agente terapéutico en la medicina tradicional para tratar problemas de salud física y mental. De esta enredadera se elaboran cremas, pomadas y otros productos comestibles para calmar diversas dolencias musculares. Adicionalmente, la ayahuasca ha fomentado el desarrollo de una industria de turismo espiritual y cultural que atrae a turistas extranjeros interesados en experimentar sus efectos y aprender sobre la cultura local. Este fenómeno beneficia a la economía local, aunque también plantea riesgos relacionados con la apropiación y explotación cultural, así como con la posible adicción a los psicoactivos (Rojas, 2014).

Existe un interés creciente en incorporar plantas amazónicas como *Banisteriopsis caapi* a la cocina, como parte de una tendencia más amplia hacia la cocina experimental y la exploración de sabores e ingredientes exóticos (Poveda & Rivera, 2021). La producción y procesamiento de la ayahuasca y sus ingredientes, como el vino de *Banisteriopsis caapi* (Figura 11), crean empleos y expanden negocios (Gearin, 2022; Kjellgren et al., 2009).



Figura 11. Bebida ayahuasca.
Fuente: Awkipuma (2024).

1.4. Chuchuguazo, *Maytenus laevis*

Maytenus laevis es conocido por diversos nombres según la región. En Chile, Argentina y Perú se le llama “maqui colorado”, en Ecuador es conocido como “chuchuguazo”, mientras que en Colombia se le denomina “arrayán”. *Maytenus laevis* es una angiosperma de la clase Eudicotiledónea, del orden Celastrales, de la familia Celastraceae. Esta planta fue descrita por primera vez en 1824 por el botánico y naturalista alemán Carl Sigismund Kunth (Biral et al., 2017).

1.4.1. Distribución geográfica

Maytenus laevis es originaria de la cuenca amazónica y se encuentra principalmente en Perú, Colombia y Ecuador (Figura 12). Esta planta prospera en distintas zonas en América Latina y es conocida por su adaptabilidad a diversos tipos de entornos. En Ecuador, *Maytenus laevis* se encuentra en zonas costeras, Amazonía y la región andina (Fantini et al., 2004).

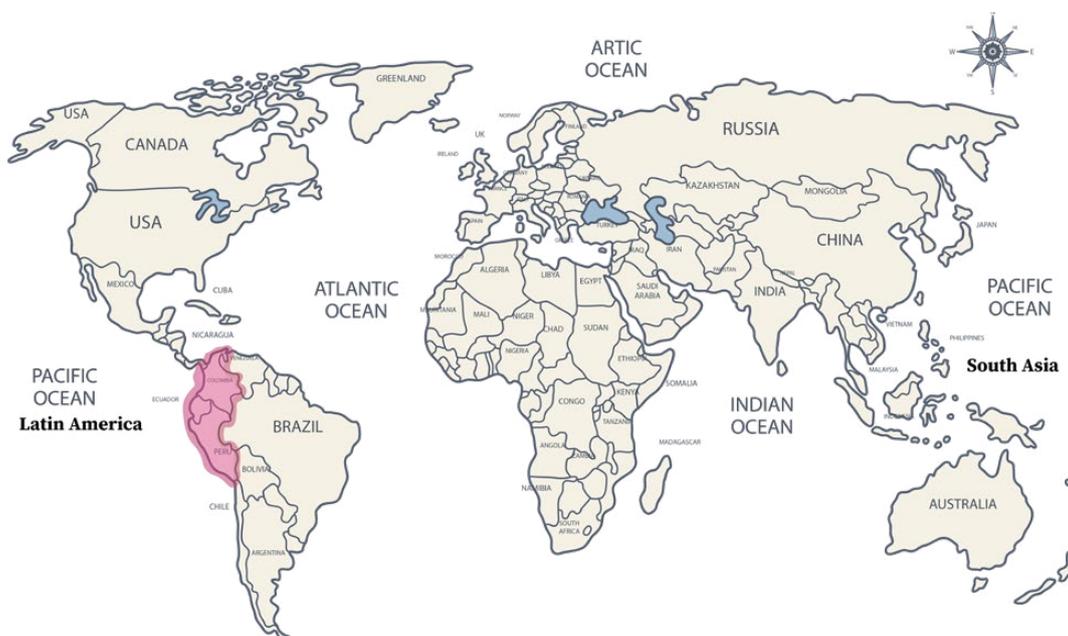


Figura 12. Origen de *Maytenus laevis* (área sombreada en rojo).

1.4.2. Descripción botánica

Maytenus laevis es un arbusto perennifolio¹⁶ que puede alcanzar una altura entre 2 y 4 metros. Sus hojas son opuestas, de forma elíptica, con márgenes lisos y una textura coriácea. Son de color verde oscuro en el haz y más claro en el envés (Arias et al., 2017). La corteza de esta planta es de color grisáceo a marrón y de textura lisa. Las flores son de color blanco o verdoso y se agrupan en inflorescencias terminales o axilares en forma de racimos. Los frutos son cápsulas que albergan numerosas semillas pequeñas y se abren cuando están maduras; el pequeño tamaño de las semillas facilita su diseminación por el viento (Steyermark, 1988).

1.4.3. Importancia social y económica

En Ecuador, esta especie desempeña un papel significativo en la vida de las comunidades indígenas de la región. A lo largo de los años, esta planta ha sido utilizada en la medicina tradicional, adquiriendo relevancia cultural. El conocimiento sobre el uso de *Maytenus laevis* en la medicina tradicional se ha transmitido de generación en generación en comunidades locales; las personas mayores y los curanderos tradicionales suelen ser los guardianes de este conocimiento y lo comparten con las generaciones más jóvenes. Esta transmisión oral es una parte fundamental de la cultura y la herencia de estas comunidades (DiCarlo et al., 1964).

En las comunidades amazónicas ecuatorianas, esta planta se usa para tratar problemas gastrointestinales y como antipirético¹⁷. Las hojas son las partes de la planta que se utilizan con fines medicinales y se preparan en diversas formas, como infusiones, decocciones o tinturas, dependiendo de la dolencia a tratar. También se pueden utilizar las raíces o la corteza de la planta, aunque su uso es menos común (Nakagawa et al., 2004).

Debido a sus propiedades farmacológicas, el cultivo, estudio y uso de esta planta ha atraído la atención de varios mercados, entre ellos la Medicina Tradicional y Complementaria, la industrialización para la obtención de tinturas y extractos, la producción de fármacos y la comercialización de productos naturales (Velo et al., 2017) (Figura 13). Además, en las áreas donde crece *Maytenus laevis*, se ha desarrollado el turismo y ecoturismo centrado en la biodiversidad de la región, atrayendo a visitantes interesados en la herbolaria y la etnobotánica (Murayama et al., 2007). Estas actividades apoyan la generación de empleo, ya que la producción, recolección y procesamiento de *Maytenus laevis* requieren trabajadores en el campo, empleados en empresas de procesamiento y envasado, así como personal de ventas y marketing (Meneguetti et al., 2016).



Figura 13. Productos derivados de *Maytenus laevis*.
Fuente: Naturista La Primavera (2024).

16. Perennifolio: que tiene un follaje que permanece verde y funcional.
17. Antipirético: fármaco que disminuye la fiebre.

1.5 Yuca, *Manihot esculenta*

Manihot esculenta, conocida por varios nombres, tales como, mandioca, yuca o casava, es una planta de la familia de las euforbiáceas ampliamente utilizada con fines alimenticios. En Ecuador, esta planta ha sido empleada desde tiempos remotos tanto en su forma fresca como en almidones, y procesada en una bebida llamada *chicha*¹⁸, considerada una bebida ancestral en la Amazonía (Monteros et al., 2021).

1.5.1. Distribución geográfica

Manihot esculenta es una planta cultivada que tiene sus raíces en América del Sur (Kunkeaw et al., 2010); no obstante, se han registrado especies silvestres en una amplia región del neotrópico americano, cubriendo zonas de Perú, Bolivia, Ecuador, Venezuela, Guyana, Surinam y Brasil (Allem, 1994) (Figura 14). En Ecuador, los genotipos cultivados de yuca se clasifican según el color de sus raíces: “negras, blancas y amarillas” (Hinostroza et al., 2014).

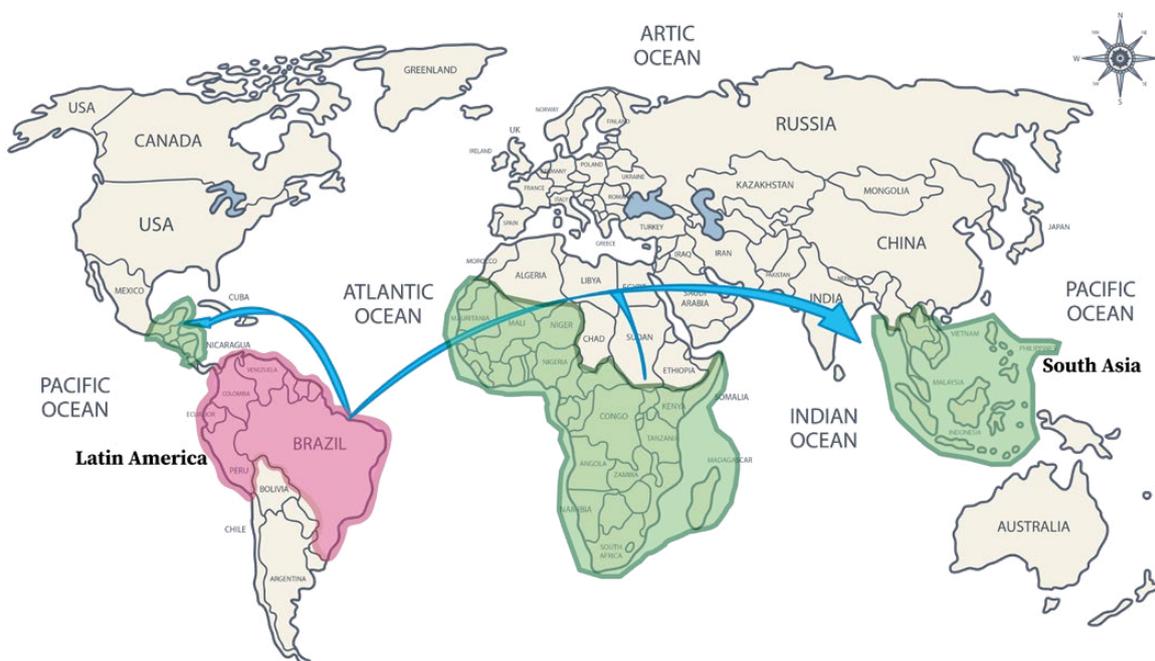


Figura 14. Origen y distribución de *Manihot esculenta*.

Las áreas sombreadas representan: en rojo, el área de origen; en verde: áreas cultivadas.

Tres subespecies de yuca han sido reconocidas, donde *Manihot esculenta* subsp. *esculenta* es la subespecie domesticada que incluye todos los cultivares conocidos. La subespecie silvestre *Manihot esculenta* subsp. *peruviana* se encuentra en el este de Perú y el oeste de Brasil. *Manihot esculenta* subsp. *flabellifolia*, otra subespecie silvestre, cuenta con una distribución más amplia que se extiende desde el estado central brasileño de Goiás hasta la Amazonía venezolana (Allem, 1994; Dreid et al., 2018).

Desde su origen en el continente americano, esta planta se ha distribuido al resto del mundo gracias a intercambios culturales y comerciales. Su facilidad de adaptación y resistencia a condiciones adversas han favorecido su expansión (Dreid et al., 2018). Actualmente, la yuca se cultiva ampliamente en regiones tropicales de América, África y Asia, entre otras (Deobuck et al., 2008) (Figura 14).

18.Chicha: bebida alcohólica preparada en agua azucarada, con propiedades medicinales. Es un elemento importante en las festividades indígenas.

1.5.2. Descripción botánica

Manihot esculenta es un arbusto monoico¹⁹ y perenne cuya altura varía entre 2 y 3 m; está adaptado a climas tropicales y subtropicales. Esta especie requiere una

alta humedad ambiental y del suelo, y no tolera los encharcamientos (Hinostroza et al., 2014) (Figura 15).



Figura 15. Planta de yuca (*Manihot esculenta*).
Fuente: Elicriso (2024).

La raíz es oblonga y cilíndrica, puede alcanzar 1 metro de longitud y 10 cm de ancho, y está recubierta por una cáscara leñosa e incomedible. Las

fibras longitudinales de la pulpa forman surcos, y la raíz es rica en carbohidratos y azúcares (Paredes et al., 2021) (Figura 16).



Figura 16. Tubérculos de yuca (*Manihot esculenta*).
Fuente: Cardona (2018).

19. Monoico: situación donde ambos sexos se presentan en una misma planta.

Las hojas de *Manihot esculenta* son palmadas y grandes. Sus flores son de color púrpura y amarillo, y nacen del extremo del tallo. De manera preferente, su reproducción es por esquejes, especialmente en los cultivares domesticados (Hinostroza et al., 2014).

En Ecuador, los genotipos de yuca se diferencian principalmente por su coloración. El genotipo denominado “Las Negras” tiene tallo y peridermis de color oscuro y pulpa blanca, con esclerénquima de color morado o blanco cremoso. El genotipo “Las Blancas” presenta tallo y peridermis de colores claros y pulpa blanca. Finalmente, el grupo “Las Amarillas” posee tallos de coloraciones claras y oscuras, el color de la pulpa puede ser blanco cremoso, crema o amarillo (Hinostroza et al., 2014).

1.5.3. Importancia social y económica

La producción mundial de yuca se distribuye en tres continentes, siendo África el principal productor, seguido de Asia y América Latina. En 2022 se produjeron 184 millones de toneladas. Para los países americanos, la yuca es un alimento básico con propiedades depurativas, desintoxicantes, y rica en vitaminas, fibra y minerales. Industrialmente, este cultivo es utilizado como materia prima para la producción de plástico biodegradable, cosméticos, papel, detergentes y textiles. Además, en ciertas culturas, tiene un valor cultural significativo al formar parte de diversas tradiciones culinarias y ceremoniales (Herrera et al., 1997).

En la Amazonía se han identificado alrededor de 200 cultivares de yuca (Monteros et al., 2021) mientras que en la Amazonía Ecuatoriana se ha reportado la coexistencia de hasta 25 variedades en una misma chakra. Las comunidades Kichwas, Waorani, Jíbaros y Shuar han llevado a cabo una labor de domesticación de estas variedades, las cuales se agrupan en dos grupos bien diferenciados: amargas y amarillas, y dulces o blancas (Paredes et al., 2021). En el cantón Quijos-Napo se han identificado 31 variedades, 28 pertenecen al grupo de las blancas, ricas en almidón, y tres al grupo de las amarillas (Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2015).

Este tubérculo es el cuarto producto básico más importante del Ecuador y constituye la base de numerosos platillos culinarios gracias a su versatilidad y variedad de usos. En general, se emplean nueve variedades con fines alimenticios, cuatro para la preparación de chicha y una con fines medicinales. Además de su importancia nutricional, la yuca posee un alto valor simbólico (véase sección 2.5. *Yuca, Manihot esculenta*), ya que las comunidades amazónicas beben chicha de yuca como parte de un ritual diario. Los miembros de la comunidad no suelen iniciar sus actividades cotidianas sin antes haber bebido dos grandes “pilches”²⁰ de chicha masticada, que equivalen aproximadamente a un litro (Ministerio de Cultura y Patrimonio, 2015).

20. Pilche: vasija pequeña y semiesférica, hecha con la cáscara del fruto de una especie de palmera de coco.

Referencias

- Allem, A. (1994). The origin of *Manihot esculenta* crantz (Euphorbiaceae). *Genetic resources and crop Evolution*, *41*, 133-150.
- Anchundia M, D. (2018). Proceso de comercialización del cacao fino de Aroma en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Avances*, *20*(4), 385-400.
- Arias Calderón, E. (2016). *Aporte del aprovechamiento de guayusa (Ilex guayusa Loes) al mantenimiento del bosque y bienestar de la comunidad Kichwa Wamaní, Provincia del Napo, Ecuador* [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8541>
- Arias, R., Silva, L., Radice, M., Bravo, L., Sánchez, J., & Riofrio, A. (2017). Polyphenols extracts from (*Theobroma cacao*) and Chuchuhuaso (*Maytenus macrocarpa*) as possible natural Amazonian antioxidant. *Proceedings of the MOL2NET*, *17*. <https://doi.org/10.3390/mol2net-03-04623>
- Aromas del Tungurahua. [Aromas del Tungurahua]. (2024). [Fotografía]. Facebook. <https://www.facebook.com/AromasDelTungurahua>
- Asociación Nacional de Exportadores de Cacao del Ecuador. (2023). Tipos de cacao. Cacao Nacional. <http://www.anecacao.com/es/cacao-nacional>
- Awkipuma. (s.f.). ¿Dónde consumir o tomar Ayahuasca en Perú?. [Fotografía]. Awkipuma. <https://awkipuma.com/blog/donde-consumir-ayahuasca-en-peru/>
- Beckett, S. T. (2019). The science of chocolate. (3ª ed.). Royal Society of Chemistry.
- Biral, L., Simmons, M., Smidt, E., Tembrock, L., Bolson, M., Archer, R., & Lombardi, J. (2017). Systematics of New World *Maytenus* (Celastraceae) and a new delimitation of the genus. *Systematic Botany*, *42*(4), 680-693.
- Bravo Bernal, F. M. (2018). *Comparación de la capacidad antioxidante de cuatro metabolitos secundarios presentes en la planta amazónica Banisteriopsis caapi (Ayahuasca) frente a la N-acetil cisteína, fármaco antioxidante comercial* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16243>
- Caicedo, C., Buitrón, L., Díaz, A., Velástegui, F., Yáñez, C., & Cuasapáz, P. (2019). *Informe anual 2018*. Instituto Ecuatoriano de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bits-tream/41000/5645/1/iniapeecalALCA2018.pdf>
- Cardona, A. (09 de mayo de 2018). *Corpoica crea genotipos de yuca que mejoran la calidad en la región Caribe*. Agronegocios. <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-produccion-de-yuca-en-colombia-2722465>
- Castro, A., Ramos, N., Juárez, J., Ponce, J., Choquesillo, F., Félix, L., Escudero, J., Navarro, A., Huaman, S., & Machaca, B. (2016). Efecto de la ingestión de *Banisteriopsis caapi* y *Psychotria viridis* 'Binomio ayahuasca' en el hipocampo del cerebro de ratas. *Anales de la Facultad de Medicina*, *77*(4), 339-344.
- Cedeño, Z., & Ávila, E. (2021). Análisis del plan estratégico del cacao fino y de aroma ecuatoriano, periodo 2013-2017. *ECA Sinergia*, *12*(3), 135-147.

- Coello, P. (2013). *La guayusa: trayectoria y sentido*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11493>
- Coll, E., & Dilas, J. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Qantu Yachay*, 2(1), 08-15.
- Cortez, F., & Salazar, D. (2023). Implementación de un producto natural a partir de Ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*) en la sustitución de antidepresivos sintéticos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 2424-2437.
- Deobuck, D., Ebert, A., Peralta, E., Barandiarán, M., & Ramírez, M. (2008). La importancia de la utilización de la diversidad genética vegetal en los programas de investigación agrícola en América Latina. *Recursos Naturales y Ambiente* 53, 46-53.
- DiCarlo, F., Haynes, L., Sliver, N., & Phillips, G. (1964). Protection of mice against gram-positive bacteria with *Maytenus laevis* and other RES stimulants. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 116(1), 195-197.
- Dos Santos, R., Osório, F., Crippa, J. & Hallak, J. (2015). Study finds ayahuasca administration associated with antidepressant effects. *Bulletin from the Multidisciplinary Association for Psychedelic Studies*. (25), 42-45.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., Weigend, M., & Luebert, F. (2012). Hoja botánica: Cacao. *Theobroma cacao*. Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú, 1, 20.
- Dreid, S. d. S., Lopes, M., Silva, A., Santos, V., Cunha, A., & Da Silva Ledo, C. (2018). Obtenção de híbridos de cultivares e de subespecies silvestres de mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(2), 182-188.
- Elicriso. (2024). ¿Cómo cultivar yuca? Elicriso. https://www.elicriso.it/es/como_cultivar/yuca/#-google_vignette
- Fantini, A., Guries, R., & Ribeiro, R. (2004). Palm heart (*Euterpe edulis Martius*) in the Brazilian. En Alexiades, M.N. y Shanley, P. (eds). *Forest Products, and Conservation: Case Studies of Non-Timber Forest Product Systems*. <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep02086.12.pdf>
- García, A., Baenas, N., Benítez, A., Stinco, C., Meléndez, A., Moreno, D., & Ruales, J. (2017). Guayusa (*Ilex guayusa* L.) new tea: phenolic and carotenoid composition and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 3929-3936.
- Gearin, A. (2022). Primitivist medicine and capitalist anxieties in ayahuasca tourism Peru. *Journal of the Royal Anthropological Institute*, 28(2), 496-515.
- Graziani, L., Ortiz, L., Angulo, J., & Parra, P. (2002). Características físicas del fruto de cacao tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía tropical*, 52(3), 343-362.
- Hackenesch, S. (2011). Chocolate, Race, and the Atlantic World: A Bittersweet History. *Comparativ*, 21(5), 31-49. www.scholar.archive.org
- Herrera, M., Berrin, K., & Benson, E. (1997). *The Spirit of Ancient Peru: Treasures from the Museo Arqueológico Rafael Larco Herrera*. Thames and Hudson.
- Hinostroza, F., Mendoza, M., Navarrete, M., & Muñoz, X. (2014). Cultivo de yuca en el Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5214>
- Kallari. (2024). [Fotografía]. <https://www.kallari.com.ec/>

- Kjellgren, A., Eriksson, A., & Norlander, T. (2009). Experiences of encounters with ayahuasca—“the vine of the soul”. *Journal of Psychoactive Drugs*, 41(4), 309-315.
- Krause, T., & Ness, B. (2017). Energizing agroforestry: *Ilex guayusa* as an additional commodity to diversify Amazonian agroforestry systems. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 13(1), 191-203.
- Kunkeaw, S., Tangphatsornruang, S., Smith, D., & Triwitayakorn, K. (2010). Genetic linkage map of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) based on AFLP and SSR markers. *Plant Breeding*, 129(1), 112-115.
- Lachenaud, P., Sounigo, O., & Sallée, B. (2005). Les cacaoyers spontanés de Guyane française: état des recherches. *Acta botanica gallica*, 152(3), 325-346.
- León, F., Calderón, J., & Mayorga, E. (2016). Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(18), 45-55.
- Loor, G., Sotomayor, I., Plaza, L., Guerrero, H., & Quiroz, J. (2021). Informe Técnico Anual 2020. En Portoviejo (Ed.), Programa de cacao y café. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- López, J., Ortiz, F., Parada, F., Lara, F., & Vásquez, E. (2019). Caracterización morfoagronómica de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) y su incidencia en la selección de germoplasma promisorio en áreas de presencia natural en El Salvador. *Revista Científica Multidisciplinaria De La Universidad De El Salvador*, 2(1), 31-50.
- Meneguetti D. U., Lima, R., Bay Hurtado, F., Matos Passarini, G., Aragão Macedo, S. R., Biguinati de Barros, N., Oliveira de Souza, F. A., Medeiros, P. S., Teixeira Militão, J. S., & Nicolete, R. (2016). Screening of the *in vitro* antileishmanial activities of compounds and secondary metabolites isolated from *Maytenus guianensis* Klotzsch ex Reissek (Celastraceae) chichuá Amazon. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 49, 579-585.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). Boletín Situacional del Cultivo de Cacao. https://fliphhtml5.com/ijia/comp/Bolet%C3%ADn_Situacional_Cacao_2022/
- Ministerio de Cultura y Patrimonio. (20 de marzo de 2015). La yuca tiene beneficios que van más allá de la alimentación. [Contiene fascículo]. <https://www.culturaypatrimonio.gob.ec/la-yuca-tiene-beneficios-que-van-mas-alla-de-la-alimentacion/>
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca del Ecuador. (2022). Boletín Productivo Zona 6. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/11/Boletin-Productivo-Zona-6.pdf>
- Montagna, M., Diella, G., Triggiano, F., Caponio, G., Giglio, O., Caggiano, G., Ciaula, A., & Portincasa, P. (2019). Chocolate, “food of the gods”: History, science, and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 4960.
- Monteros, Á., Tapia, C., Paredes, N., Alulema, V., Tacán, M., Roura, A., Lima, L., & Sørensen, M. (2021). Morphological and ecogeographic study of the diversity of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Ecuador. *Agronomy*, 11(9), 1844.
- Mosquera, B. (2021). Importancia económica del cacao orgánico (*Theobroma cacao*) en el Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9226>
- Moss, S., & Badenoch, A. (2009). *Chocolate: a global history*. Reaktion Books Ltd.
- Munay Herbal. (2024). Guayusa. [Fotografía]. <https://munayherbal.com/tag/guayusa/>

- Murayama, T., Eizuru, Y., Yamada, R., Sadanari, H., Matsubara, K., Rukung, G., Tolo, F., Mungai, G., & Kofi sekpo, M. (2007). Anticytomegalovirus activity of pristimerin, a triterpenoid quinone methide isolated from *Maytenus heterophylla*. *Antiviral Chemistry and Chemotherapy*, 18(3), 133-139.
- Nakagawa, H., Takaishi, Y., Fujimoto, Y., Duque, C., Garzon, C., Sato, M., Okamoto, M., Oshikawa, T., & Ahmed, S. U. (2004). Chemical Constituents from the Colombian Medicinal Plant *Maytenus laevis*. *Journal of Natural Products*, 67(11), 1919-1924.
- Naturista la Primavera. (2024). La Primavera Productos Naturales. [Fotografía]. <https://www.laprimaveraproductosnaturales.com/>
- Paredes, N., Lima, L., Pico, J., Vargas, Y., Caicedo, C., Fernández, F., Subía, C., Tinoco, L. A., Sotomayor, D., & Monteros, Á. (2021). Guía para la producción y manejo integrado del cultivo de yuca para la Amazonia Ecuatoriana. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5824>
- Paredes, N., Monteros, Á., Lima, L., Caicedo, C., Tinoco, L., Fernández, F., Vargas, Y., Pico, J., Subía, C., & Burbano, A. (2022). Manual del cultivo de cacao sostenible para la Amazonía Ecuatoriana. N°25. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5833>
- Politi, M., Friso, F., Saucedo, G., & Torres, J. (2021). Traditional use of *Banisteriopsis caapi* alone and its application in a context of drug addiction therapy. *Journal of Psychoactive Drugs*, 53(1), 76-84.
- Poveda, T., & Rivera, D. (2021). Estudio de bebidas y plantas ancestrales para la elaboración de un menú gastronómico con productos tradicionales del Ecuador. Caso de estudio: planta ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*). *Revista Universidad y Sociedad*, 13(3), 444-453.
- Quiroz, J., Mestanza, S., Parada, N., Morillo, L., Samaniego, I., & Garzón, I. (2021). Catálogo de Cultivares de Cacao en Ecuador. Boletín Técnico / BT-449. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5810>
- Radice, M., Cossio, N., & Scalvenzi, L. (2016). *Ilex guayusa*: A systematic review of its traditional uses, chemical constituents, biological activities and biotrade opportunities. *Proceedings of the MOL2NET*, 16.
- Rodd, R. (2008). Reassessing the cultural and psychopharmacological significance of *Banisteriopsis caapi*: preparation, classification and use among the Piaroa of Southern Venezuela. *Journal of Psychoactive Drugs*, 40(3), 301-307.
- Rojas Ardila, J., Rojas, F., Ramírez, Ó. D., Moreno, F., Castro, G. A., & Pinzón Useche, J. O. (2012). Guía técnica para el cultivo del cacao. Federación Nacional de Cacaoteros - FEDECACAO. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/11685>
- Rojas, R. (2014). Turistas en Ayahuasca. Etnografía de un servicio chamánico en la selva boliviana. *Cultura y Droga*, 19(21), 35-56.
- Rosado, L., Sornoza, W., & Rivadeneira, A. (2022). La cadena de comercialización del cacao fino de aroma, cantón Pichincha, Ecuador. *ECA Sinergia*, 13(3), 86-95.
- Sacoto, C., Barzallo, A., Asang, S., & Garcia, J. (2022). Caracterización morfológica del cacao nacional "*Theobroma cacao* L." del cantón Naranjal, Ecuador. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 34(4), 80-97.
- Saravia, S., Rodríguez, A. G., & Saravia, J. (2020). Determinants of certified organic cocoa production: evidence from the province of Guayas, Ecuador. *Organic Agriculture*, 10, 23-34.

Smith, N., Mori, S., Henderson, A., Stevenson, D., & Heald, S. (2004). *Flowering Plants of the Neotropics*. Princeton University Press.

Steyermark, J. (1988). Flora of the Venezuelan Guayana-V. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75(3), 1058-1086.

Veloso, C., Soares, G., Perez, A., Rodrigues, V., & Silva, F. (2017). Pharmacological potential of *Maytenus* species and isolated constituents, especially tingenone, for treatment of painful inflammatory diseases. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 27, 533-540.

Verna, R. (2013). The history and science of chocolate. *The Malaysian Journal of Pathology*, 35(2), 111.

Viet Ha, L. T., Thi Hang, P., Everaert, H., Rottiers, H., cLam Phan, A. T., Tran Nhan, D., & Messens, K. (2016). Characterization of leaf, flower, and pod morphology among Vietnamese cocoa varieties (*Theobroma cacao* L.). *Pakistan Journal Botany*, 48(6), 2375-2383.

Viteri Salazar, O. (2016). Incidencia de los programas agrarios gubernamentales en la cadena de valor del cacao fino y de aroma en Ecuador. *Revista NERA*, 0(32).

Zhang, D., & Motilal, L. (2016). Origin, dispersal, and current global distribution of cacao genetic diversity. En Bailey, B., Meinhardt, L. (Ed.), *Cacao diseases: A history of old enemies and new encounters*, 3-31. Springer Cham.

Conocimientos ancestrales, usos tradicionales y etnobotánica

Dayanna Carolina Ñacato Chicaiza

La región amazónica es considerada como una de las zonas más biodiversas del mundo. En este lugar existe una variedad de plantas que no sólo se utilizan como fuente de alimento, forraje, material de construcción, combustible y leña, sino también como medicina tradicional y en rituales (Bidak et al., 2015; De la Torre et al., 2008). Es decir, el valor especial de estas plantas radica en que no solo se emplean con propósitos comerciales, sino también culturales. Por esta razón, después de haber presentado los cultivos representativos de la Amazonía, en este capítulo nos adentraremos en los saberes ancestrales, usos tradicionales y etnobotánica asociados a estas cinco especies, explorando aquello que las hace únicas.

2.1. Cacao, *Theobroma cacao*

Según investigaciones y evidencia arqueológica, se cree que la cultura Mayo-Chinchipec¹ usó el cacao desde el año 3300 a.C. Las tradiciones indican que las semillas de cacao se empleaban como objetos de intercambio comercial (Marcos, 2005; Abad et al., 2020) mientras que la pulpa era utilizada como un refrigerio vigorizante. El jugo se fermentaba para preparar una bebida alcohólica usada en rituales y celebraciones (Zarrillo et al., 2018).

Esta planta tiene múltiples usos: el arilo fresco sirve como alimento de animales, las semillas tostadas son comestibles y se utilizan en la preparación de chocolates finos y de aroma, cacao en polvo, entre otros productos. En las comunidades de Napo, el fruto se emplea para la preparación de bebidas estimulantes. Además, las hojas y cortezas se utilizan en infusiones con fines medicinales, y los troncos se emplean en la construcción.

En Orellana y Sucumbíos, los Kichwa utilizan el fruto inmaduro (véase sección 1.1.2. Descripción botánica) para el tratamiento de tumores de la piel y úlceras. En Napo, junto con la resina de la cáscara, se usa como cicatrizante de cortaduras. La nacionalidad Tsa'chi (Pichincha) usa las semillas para el tratamiento de padecimientos posparto, anemia, fiebre y para detener las hemorragias. En Napo, se aplican en abscesos con pus para favorecer su maduración y, en etnias de la costa, se utilizan para tratar los empeines (De la Torre et al., 2008).

El conocimiento y los saberes ancestrales sobre el cultivo, consumo, transporte y comercialización de cacao representan un patrimonio intangible de Ecuador (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2017).

1. Cultura Mayo-Chinchipec: cultura que existió hace 5 500 – 1 700 años en el sureste de Ecuador y el norte de Perú, recibe su nombre de las cuencas de los ríos donde se asentó.

2.2. Guayusa, *Ilex guayusa*

La guayusa es una planta de gran importancia cultural y medicinal para varias etnias y nacionalidades amazónicas del Ecuador, debido a sus propiedades estimulantes y purgantes.

Uno de los mitos del conocimiento ancestral de los Kichwa amazónicos indica que la guayusa, antes de ser considerada como una planta sagrada, fue un ser divino que fomentaba y motivaba la ejecución de negocios, además de impulsar la toma de decisiones inteligentes, promover las ganas de vivir y mantener un estado de vigilancia. Otro mito sostiene que fue un ser divino de gran fuerza física y poder espiritual, por lo que se creía que la guayusa fortalecía el ánimo, estimulaba la libido y favorecía la fertilidad (Naranjo, 2012; Villacís Chiriboga, 2017).

Las hojas de guayusa (véase sección 1.2.2. Descripción botánica) se utilizan comúnmente en forma de té o infusión. Según las tradiciones de la nacionalidad Kichwa, las mujeres son las encargadas de preparar y repartir la infusión de guayusa entre la familia y los visitantes, empezando por los hombres. Mientras se bebe, se realizan otras actividades como

contar historias o entonar música, promoviendo la convivencia comunitaria. Las hojas se conservan al doblarlas, atravesarlas con un hilo y finalmente colgarlas en una especie de sarta.

Una tradición que se ha mantenido hasta la actualidad es la celebración de la “Wayusa Upina” que permite a las comunidades Kichwa compartir sus costumbres y tradiciones (Figura 17). Esta ceremonia comienza muy temprano, a las 3 am, ya que se considera la hora propicia para planificar todas las actividades del día. Se inicia con la preparación de la infusión de hojas de guayusa; luego, durante la ceremonia, se consumen alimentos como chontacuro², caldo de gallina criolla, ensalada, chicha, entre otros. Además, los hombres mayores de la comunidad ofrecen consejos e incluso realizan rituales o reprimendas a los jóvenes. Estas reprimendas consisten en colocar tabaco o ají molido en los ojos y pasar hojas de ortiga sobre el cuerpo, con el fin de reorientar a los jóvenes y fortalecer sus cuerpos (Villacís Chiriboga, 2017; Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, 2020; Dueñas et al., 2016).



Figura 17. Celebración de la Wayusa Upina, en las comunidades del Alto Napo.

Fuente: El Universo (2019).

2.Chontacuro: en la lengua quechua significa “gusanos de la chonta”. Es la larva de *Rhynchophorus palmarum*, y crece en

los árboles de chonta, es utilizado como alimento típico especialmente en la Amazonía Ecuatoriana.

Otras celebraciones relacionadas con esta planta incluyen el “Gran Guayusazo Bailable” y festivales donde se elige a una mujer que representa su cultura, conocida como “Guayusa Warmi”.

En la nacionalidad Kichwa, la infusión de hojas de guayusa es consumida por sus efectos estimulantes, debido a su contenido de cafeína y teobromina. Sus usos incluyen mitigar el cansancio y el sueño, tratar afecciones estomacales, detener la diarrea, actuar como purgante del sistema digestivo, como diurético, como enjuague bucal, para desinflamar la próstata y para tratar la gripe en combinación con otras especies como limón, jengibre o licor de caña de azúcar. Además, se cree que la guayusa alivia el malestar corporal, incrementa la fertilidad, e incluso que tiene propiedades repelentes. También se utiliza como tónico para prevenir el envejecimiento de la piel y en baños de vapor. Asimismo, los Kichwa del Oriente (Napo, Sucumbíos) la emplean para mitigar la depresión, estimular el funcionamiento adecuado del estómago y tratar las mordeduras de serpientes (Dueñas et al., 2016; Villacís Chiriboga, 2017; De la Torre et al., 2008).

Otras nacionalidades que cultivan esta planta son los Shuar y Achuar, quienes también la consumen por sus propiedades medicinales y estimulantes. Los Achuar tienen la costumbre de inducir el vómito tras ingerir la infusión de guayusa para limpiar sus intestinos, ya que consideran inapropiado empezar el día con el estómago lleno. Asimismo, celebran la ceremonia del té de guayusa, considerada como un nexo entre el mundo espiritual y corporal. A veces, se suministra la *llax guayusa* a los perros para mejorar sus habilidades de caza. Sin embargo, se sabe que, en mezcla con otras plantas, puede producir efectos adversos a la salud; tal es el caso de la decocción de hojas de guayusa con guayabo (*Psidium guajava*) que produce una bebida venenosa (Dueñas et al., 2016; Giovannini, 2015).

Los Shuar utilizan la guayusa en rituales como la “Ceremonia de las Mujeres del Tabaco Jívoro”, donde las mujeres con esta bebida limpian sus bocas, y en el “Festival de la Victoria y la Fiesta Tsantsa”, donde el guerrero, junto a su esposa e hija, realizan esta misma actividad antes de servirse los alimentos de la ceremonia (Schultes, 1972). Además, los Shuar emplean la corteza y las hojas para el tratamiento de la artritis y el reumatismo (De la Torre et al., 2008).

Las nacionalidades Cofán y Kichwa de las Tierras Altas³ usan la guayusa como aditivo en las bebidas espirituosas durante los festivales. Los Secoya la emplean para tratar el dolor corporal. La nacionalidad los Tsa’chi de la costa ecuatoriana utiliza baños de vapor con esta planta para aliviar el dolor menstrual y los dolores postparto. De igual manera, la nacionalidad Tsa’chi (Pichincha) usa la infusión de las hojas para tratar dolencias relacionadas con el aborto y los cólicos (De la Torre et al., 2008).

2.3. Ayahuasca, *Banisteriopsis caapi*

El término kichwa *ayahuasca* está compuesto por el prefijo *aya*, que significa alma, espíritu o muerto, y la raíz *waska*, que significa liana, cordón o cuerda. Se puede interpretar como la “vid de los espíritus”, “cuerda del alma”, “cordón de los muertos” o “vid de la muerte” (Neyra, 2017; Cerón et al., 2022; Naranjo, 2012). Esta planta es ampliamente utilizada por las comunidades indígenas amazónicas en países como Ecuador, Colombia, Perú y Brasil.

Los Shuar y Achuar, conocen a la ayahuasca como *natem*, que se puede interpretar como “nacimiento, morir y nacer” (Diario El Tiempo, 2017). Según la mitología del pueblo indígena Shuar, esta planta es la reencarnación de Natem. Natem era un hombre sabio que

3. Kichwa de las Tierras Altas: correspondientes a aquellas asentadas en las partes altas de la Amazonía (altitudes mayores a los 600 msnm).

podía ver eventos del pasado y del futuro, y predecía el tiempo y el clima; por ello, aconsejaba a la tribu sobre cuándo debían salir a pescar o cazar. Además, Natem instruía al chamán⁴ sobre cómo realizar rituales de curación, ya que podía reconocer a aquellos poseídos por malos espíritus. Al no ser inmortal, Natem reencarnó en la planta de Ayahuasca, por lo que la costumbre es beber su extracto acuoso (Naranjo, 2012).

En el caso de los Kichwas amazónicos, el mito dice que los hombres más viejos presenciaron la aparición de un hombre poderoso y robusto, que daba la impresión de ser un dios, cuya habilidad era someter sin dificultad a animales como el tigre y la anaconda. Cuando habló, les mencionó, entre otras cosas, que era el espíritu de sus antepasados, y finalmente se convirtió en una planta trepadora, conocida como ayahuasca (Naranjo, 2012).

En cuanto a las tradiciones relacionadas con esta planta, se conoce que los Shuar realizan un ritual de iniciación para los hombres, quienes consideran que deben tener más de un espíritu. Uno de ellos es el que poseen al nacer y que se encuentra en la naturaleza, en plantas, animales, entre otros, conocido como *wacani*. El otro es el espíritu de *Arutam* que les otorga valor, fuerza, audacia y virilidad, pero este último deben adquirirlo a través de una serie de ritos. Para obtener el segundo espíritu, los jóvenes son llevados a una cascada sagrada en compañía de sus padres, quienes le dan de beber una pequeña cantidad de la bebida sagrada (ayahuasca) hasta que el joven se sienta preparado para entrar en trance. En ese momento, el joven se baña en el río y, por la noche, bebe agua de tabaco seguida de más ayahuasca. Durante el proceso de alucinaciones, el joven debe observar la presencia de *Arutam*, que aparece en forma de animales como la anaconda, tigrillos, cóndor, u otros, o en forma de un anciano o bolas de fuego. El objetivo se cumple cuando el joven logra tocarlos (Diario El Tiempo, 2017; Naranjo, 2012).

En el contexto tradicional, la ayahuasca es una bebida alucinógena que se prepara hirviendo o remojando la corteza y los tallos de *Banisteriopsis caapi* con una mezcla de plantas. Entre las plantas más comúnmente usadas en la mezcla está *Psychotria viridis*, cuyas hojas contienen alcaloides⁵ necesarios para generar los efectos psicoactivos. *Banisteriopsis caapi* contiene alcaloides como harmalina, harmina, d-tetrahidroharmina, y alcaloides de β -carbolina, que poseen propiedades inhibitorias de la monoaminoxidasa, lo que le confiere a la bebida ayahuasca sus propiedades psicotrópicas. Por otro lado, *Psychotria viridis* aporta con N,N-dimetiltriptamina (DMT). Por lo tanto, los efectos de la ayahuasca responden a una interacción sinérgica entre los alcaloides activos de ambas plantas (McKenna, 2005; Domínguez et al., 2016).

Además, las hojas y el tallo de *Banisteriopsis caapi* se utilizan para preparar otras bebidas con propiedades alucinógenas o narcóticas, conocidas como yajé, caapi, natema, entre otras. Estas bebidas son generalmente consumidas por chamanes o curanderos en ceremonias o rituales, y se cree que les permiten comunicarse con los espíritus de la selva, alejar malos espíritus, diagnosticar y tratar enfermedades, y producir visiones; también otorga conocimiento “sobrenatural” para adivinar, o descubrir planes de enemigos, o en caso de enfermedades para identificar qué brujo la causó⁶, entre otras cosas (Naranjo, 2012; De la Torre et al., 2008).

Finalmente, en algunas comunidades amazónicas, el tallo se utiliza para reanimar a personas que han perdido el conocimiento, para tratar dolores óseos y el reumatismo. En Pichincha, la etnia Tsa’chi lo usa como laxante, así como para tratar el dolor de estómago y la pérdida de apetito. Por otro lado, los Kichwa del Oriente (Orellana) y los Shuar (Zamora Chinchipe) utilizan la raíz como agente ictiotóxico (De la Torre et al., 2008).

4. Chamán: persona que tendría la capacidad de sanar a los enfermos, adivinar e invocar espíritus.

5. Compuestos nitrogenados producidos por las plantas de importancia por su mimetismo hormonal y su intervención en las reacciones principales del metabolismo celular.

6. Un brujo, en la creencia popular, tiene el poder de enfermar o maldecir a alguien.

2.4. Chuchuhuasi, *Maytenus laevis*

El chuchuhuasi, también conocido como chuchugua-za, chuchuguazo o chuchuhuasha, es una planta que crece en países como Ecuador, Perú y Colombia. El extracto etanólico es ampliamente utilizado en la medicina tradicional. A los extractos de la corteza de la raíz de la planta se le atribuyen propiedades anti-tumorales y antiinflamatorias (Gonzalez et al., 1982).

Aunque existen pocos registros bibliográficos oficiales sobre el uso tradicional de *Maytenus laevis*, se cuenta con información sobre plantas del mismo género. Por ejemplo, *Maytenus ebenifolia* es utilizada en Orellana por la etnia Wao como alimento de animales y como larguero (tallo). Los Kichwa del Oriente consumen la corteza raspada para conseguir fuerza y, mezclado con agua, lo usan para eliminar las lombrices.

Otra planta del mismo género es *Maytenus krukovii*. En Sucumbíos, los Cofanes emplean la corteza para darle sabor y color al licor, al igual que con la especie *Maytenus macrocarpa*. Además, beben la infusión de sus hojas para mejorar las alucinaciones tras consumir el yaje⁷. Los Kichwa del Oriente utilizan *Maytenus krukovii* para tratar hemorragias leves postparto, cólicos menstruales, dolores de estómago, riñón y cuerpo, reumatismo y anemia. En Imbabura, la infusión de la planta se usa para curar el espanto⁸. En Napo, los Wao la utilizan para tratar la gripe y el dolor corporal (De la Torre et al., 2008).

Según una entrevista realizada en 2021 a la presidenta de la comunidad Toyuca, los Kichwas del Oriente (Orellana) utilizaron un brebaje de chuchuguazo para combatir la pandemia de COVID-19. La bebida se preparó cocinando la corteza de la planta y añadiendo trago puro de caña (aguardiente) hasta obtener una coloración rojiza; luego, se dejó reposar

durante dos días. Este brebaje se ingería dos veces al día por las mañanas. Además, el chuchuguazo se utiliza tradicionalmente para tratar la gripe, dolores de huesos y estomacales (Gómez, 2021).

2.5. Yuca, *Manihot esculenta*

La yuca es una planta euforbiácea que ha sido utilizada desde tiempos antiguos por las comunidades amazónicas como una fuente esencial de alimento. Además, forma parte integral de la cultura y las tradiciones de los países en donde se la cultiva (Arias et al., 2005).

En algunas creencias ecuatorianas, la siembra de esta planta sigue el calendario lunar, especialmente durante la luna menguante o, en ciertos casos, la luna llena. En la costa, se prefiere sembrar cuando la marea está baja; también se cree que quien siembre no debe consumir pescado, ya que esto podría hacer que la yuca crezca delgada y alargada. En las comunidades amazónicas, una de las tradiciones es realizar un ritual a la diosa Nunkuy para proteger la chakra⁹. Para mejorar la productividad, se entierra una piedra conocida como Nantar, que se cree que fortalece el cultivo (Hinostraza et al., 2014).

Uno de los rituales asociados al cultivo de *Manihot esculenta* incluye bañar a la yuca con achiote, realizar cánticos a Nunguli (madre de la yuca), y usar hojas para proporcionar energía al cultivo. Para el control de plagas, los Shuar tienen la costumbre de ingerir las chizas¹⁰ encontradas en la profundidad del suelo; además recolectan insectos plaga, los atan en número impar, los sumergen en agua hirviendo, y finalmente los queman. También guardan estos insectos en costales que después arrojan al río (Hinostraza et al., 2014).

7. Yaje: conocido también como yagé o ayahuasca, es una bebida o brebaje de propiedades psicotrópicas.

8. Espanto: entre curanderos, enfermedad supuestamente causada por un susto.

9. Chakra Amazónica: sistema de policultivos con un alto nivel de biodiversidad que se conjuga con conocimientos ancestrales y cultura de las comunidades.

10. Chizas: larva de un género de escarabajos.

El uso más común de la yuca es como alimento. Desde antes de la conquista de América, se ha utilizado en la preparación de almidones (tapioca, sémola), harina, y bebidas fermentadas como chicha o masato¹¹. Actualmente, la raíz (véase sección 1.5.2. Descripción botánica) se consume cocida, frita o asada, y se emplea en la preparación de la chicha, una bebida tradicional que se consume para calmar la sed y evitar la fatiga, especialmente durante las fiestas. Además, la yuca es base para la preparación de diferentes alimentos como puré, tamales, pasteles, pan, etc. Algunas nacionalidades como los Tsa'chi (Pichincha), Secoya (Sucumbíos) y Kichwa del Oriente (Napo) utilizan las hojas tiernas, conocidos como cogollos, para la preparación de ensaladas, sopas, morcillas, para la fabricación de engrudos, y la producción de etanol en la costa (De la Torre et al., 2008).

Una tradición destacada relacionada con esta planta es el ritual de la chicha. En la comunidad Sarayaku, en la provincia de Pastaza, la preparación y consumo de chicha de yuca es parte de la rutina diaria y de las celebraciones festivas. Como parte de su rutina diaria, los ancestros de esta comunidad preparaban la bebida al inicio del día, masticando la yuca por la noche, dejándola fermentar y luego separando el líquido para su consumo. Para las festividades, la preparación de la chicha comienza cinco días antes de cada celebración y la actividad está a cargo de las mujeres, quienes deben masticar la yuca. Las bebidas se sirven en diferentes vasijas dependiendo de la actividad, por ejemplo, mukawas¹², o callanas¹³. Los Shuar también comparten esta tradición de la preparación de la chicha de yuca (Diario La Hora, 2018;

Diario El Comercio, 2015). Actualmente, las comunidades ya no sirven chicha masticada a los visitantes, a menos que se la pidan. Sin embargo, la tradición de su preparación aún continúa.

Con respecto al uso medicinal, los Kichwa del Oriente (Napo) utilizan la yuca en la preparación de coladas para aumentar la producción de leche materna. El almidón se emplea para tratar espinillas, heridas, y como talco para erisipela, escaldaduras y sarpullidos. La raíz rallada en forma de emplasto se aplica para tratar picaduras de insectos, golpes, heridas e hinchazones, mientras que las hojas que se usan para el tratamiento de tumores. Las hojas tiernas también se usan para tratar la dislocación del coxis en niños, detener hemorragias, aliviar infecciones cutáneas, tratar la diarrea, el dolor de estómago, de cabeza, así como las dolencias relacionadas con hemorragias durante el embarazo, el parto y el posparto. En la costa, la yuca se utiliza por sus propiedades antiespasmódicas y antisépticas para tratar inflamaciones e infecciones en piernas, brazos y vías urinarias (De la Torre et al., 2008).

Según las creencias de los Kichwa del Oriente (Napo), las hojas de la yuca se utilizan para curar el "malaire"¹⁴ de los niños, frotándolas sobre su cuerpo; mientras que, los Shuar (Napo, Orellana), utilizan también la raíz y preparan una mezcla que sirve para bañar a los niños que sufren este mal (De la Torre et al., 2008).

11.Masato: bebida fermentada hecha con yuca.

12.Mukawas: tazón de cerámica.

13.Callanas: vasija de barro para tostar granos.

14.Malaire: trastorno nervioso atribuido popularmente a un espíritu maléfico.

Referencias

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: Estudio de su dimensión cultural y económica—Dialnet. *Revista Internacional de Administración*, 7, 59-83.
- Arias, J. C. A., Ramos, L. Á. R. del, Huaines, F. J., Acosta, L. E. A., Camacho, H. A. C., & Marín, Z. Y. M. (2005). *Diversidad de yucas (Manihot esculenta Crantz) entre los Ticuna: Riqueza cultural y genética de un producto tradicional*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI).
- Asociación de Municipalidades Ecuatorianas. (2020). *Wayusa Upina: Una tradición ancestral que se mantiene hasta nuestros días*. AME. <https://ame.gob.ec/2020/12/24/wayusa-upina-una-tradicion-ancestral-que-se-mantiene-hasta-nuestros-dias>
- Bidak, L. M., Kamal, S. A., Halmy, M. W. A., & Heineidy, S. Z. (2015). Goods and services provided by native plants in desert ecosystems: Examples from the northwestern coastal desert of Egypt. *Global Ecology and Conservation*, 3, 433-447.
- Cerón, H. R., González, M. A., & Córdoba Ortiz, S. A. (2022). Ayahuasca-induced psychosis: A case report. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 51(3), 236-239.
- Diario El Comercio. (13 de enero de 2015). *El ritual de la chicha conecta a Sarayaku con la naturaleza*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/chicha-ritual-sarayaku-naturaleza-ancestral.html>
- Diario El Tiempo. (2017). *La ayahuasca, una planta de poder*. CIDAP. <http://documentacion.cidap.gob.ec:8080/handle/cidap/1663>
- Diario La Hora. (16 de marzo 2018). *La chicha de yuca, un sello de amistad*. <https://www.lahora.com.ec/noticias/la-chicha-de-yuca-un-sello-de-amistad/>
- Domínguez, E., Soler, J., Elices, M., Pascual, J. C., Álvarez, E., de la Fuente Revenga, M., Friedlander, P., Feilding, A., & Riba, J. (2016). Ayahuasca: Pharmacology, neuroscience and therapeutic potential. *Brain Research Bulletin*, 126, 89-101.
- Dueñas, J. F., Jarrett, C., Cummins, I., & Logan-Hines, E. (2016). Amazonian Guayusa (*Ilex guayusa* Loes.): A Historical and Ethnobotanical Overview. *Economic Botany*, 70(1), 85-91.
- El Universo. (29 de septiembre 2019). *Ritual de la Wayusa Upina, en zonas del Alto Napo*. <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/09/29/nota/7539487/ritual-wayusa-upina-zonas-alto-napo/>
- Giovannini, P. (2015). Medicinal plants of the Achuar (Jivaro) of Amazonian Ecuador: Ethnobotanical survey and comparison with other Amazonian pharmacopoeias. *Journal of Ethnopharmacology*, 164, 78-88.
- Gómez, A. (27 de enero 2021). *El chuchuguazo, el remedio de los indios kichwas para combatir la pandemia*. COPE. https://www.cope.es/actualidad/internacional/noticias/chuchuguazo-remedio-indios-kichwas-combatir-pandemia-20210127_1108106
- Gonzalez, J. G., Monache, G. D., Monache, F. D., & Marini-Bettolò, G. B. (1982). *Chuchuhuasha*—A drug used in folk medicine in the Amazonian and Andean areas. A chemical study of *Maytenus laevis*. *Journal of Ethnopharmacology*, 5(1), 73-77.
- Hinostroza, F., Mendoza, M., Navarrete, M., & Muñoz, X. (2014). *Cultivo de yuca en el Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5214>

Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2017). *Usos y saberes tradicionales asociados a la producción de cacao nacional fino de aroma*. <https://www.patrimoniocultural.gob.ec/usos-y-saberes-tradicionales-asociados-a-la-produccion-de-cacao-nacional-fino-de-aroma/>

De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macia, M., & Baslev, H. (2008). *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador*. Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Marcos, J. G. (2005). *Los Pueblos Navegantes Del Ecuador Prehispánico*. Centro Cultural Abya-Yala.

McKenna, D. (2005). Ayahuasca: An ethnopharmacologic history. En R. Metzner (Ed.), *Sacred vine of spirits: Ayahuasca* (pp. 40-63). Inner Traditions / Bear & Co.

Naranjo, P. (2012). *Mitos, tradiciones y plantas alucinantes*. Universidad Andina Simón Bolívar.

Neyra, D. (2017). Psicosis inducida por ayahuasca: Reporte de un caso. *Revista de Neuro-Psiquiatría*, 80(4), 265-272.

Schultes, W. (1972). A medicine-man implements and plants in a Tiahuanacoid tomb in highland Bolivia. *Journal of Ethnopharmacology*, 34(2-3), 287.

Villacís Chiriboga, J. (2017). Etnobotánica y Sistemas Tradicionales de Salud en Ecuador. Enfoque en la Guayusa (*Ilex Guayusa* Loes). *Etnobotánica*, 15(3), 79-88.

Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., Salin, F., Solorzano, R. L., Bouchez, O., Vignes, H., Severts, P., Hurtado, J., Yopez, A., Grivetti, L., Blake, M., & Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, 2(12), 1879-1888.

Aplicaciones biotecnológicas

Ana Lucía Bravo Cazar, Diego Alejandro Nieto Monteros, Dayanna Carolina Ñacato Chicaiza, Enith Vanessa Yáñez Ramírez

3.1. Herramientas de la biotecnología: generalidades

3.1.1. Cultivo *in vitro*

La biotecnología ha surgido como una herramienta poderosa en la búsqueda de soluciones para una amplia gama de desafíos en diversos campos, desde la medicina hasta la agricultura y la conservación del medio ambiente. En el corazón de esta disciplina se encuentra el estudio de especies vegetales para desarrollar productos y procesos que beneficien a la sociedad. En el contexto de la Amazonía, una de las regiones más biodiversas del mundo, estas aplicaciones biotecnológicas ofrecen un potencial inmenso. Desde el descubrimiento de nuevas especies y compuestos medicinales hasta la mejora de cultivos adaptados a las condiciones únicas de la región, la biotecnología abre oportunidades significativas para impulsar el desarrollo sostenible y la conservación en este importante ecosistema.

En este capítulo, se expondrán los conceptos de las herramientas biotecnológicas: cultivo *in vitro*, genética funcional, técnicas de biología molecular y bioinsumos. Luego, se destacarán los avances logrados con estas cuatro herramientas biotecnológicas en los cultivos amazónicos: cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*), guayusa (*Ilex guayusa*), ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*), Chuchuguazo (*Maytenus laevis*) y la yuca (*Manihot esculenta*).

El cultivo *in vitro* es una herramienta innovadora que se basa en el cultivo de partes vegetales o plantas completas en un entorno controlado, es decir, fuera de su ambiente natural, lo que permite mantenerlas libres de agentes patógenos, virus y otras plagas comunes. Este aislamiento facilita el cultivo de una gran cantidad de especies en espacios reducidos, incluso aquellas con bajos porcentajes de germinación *in vivo* (Calva & Pérez, 2005; Loyola Vargas & Ochoa Alejo, 2012).

El cultivo de tejidos vegetales se fundamenta en el principio de totipotencia, que establece que cada célula vegetal contiene una copia íntegra del material genético de la planta de la cual proviene. Esta característica permite a las células totipotentes regenerar diversos tejidos como brotes y raíces, dando lugar a una planta entera completamente idéntica a la original. En el caso de la embriogénesis somática, se cultivan embriones a partir de células no reproductivas, como las de la hoja, tallo, raíz, etc. La embriogénesis¹ somática se emplea para la multiplicación rápida de plantas con rasgos deseables, la propagación de especies vegetales difíciles de propagar por métodos convencionales y en procesos de modificación genética de plantas (Calva & Pérez, 2005).

1. Embriogénesis: desarrollo de un embrión (rudimento de la planta adulta) que puede darse a través de fecundación o a través de cualquier tejido o célula vegetal mediante cultivo *in vitro*.

En términos generales, el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales consiste varias etapas (Figura 18) y su éxito depende de la adecuada selección del explante², que a su vez está condicionado por la

calidad de la planta madre³ o del tejido del cual se originó el cultivo. Los tejidos que contienen células meristemáticas⁴ son los preferidos para este proceso (Calva & Pérez, 2005).

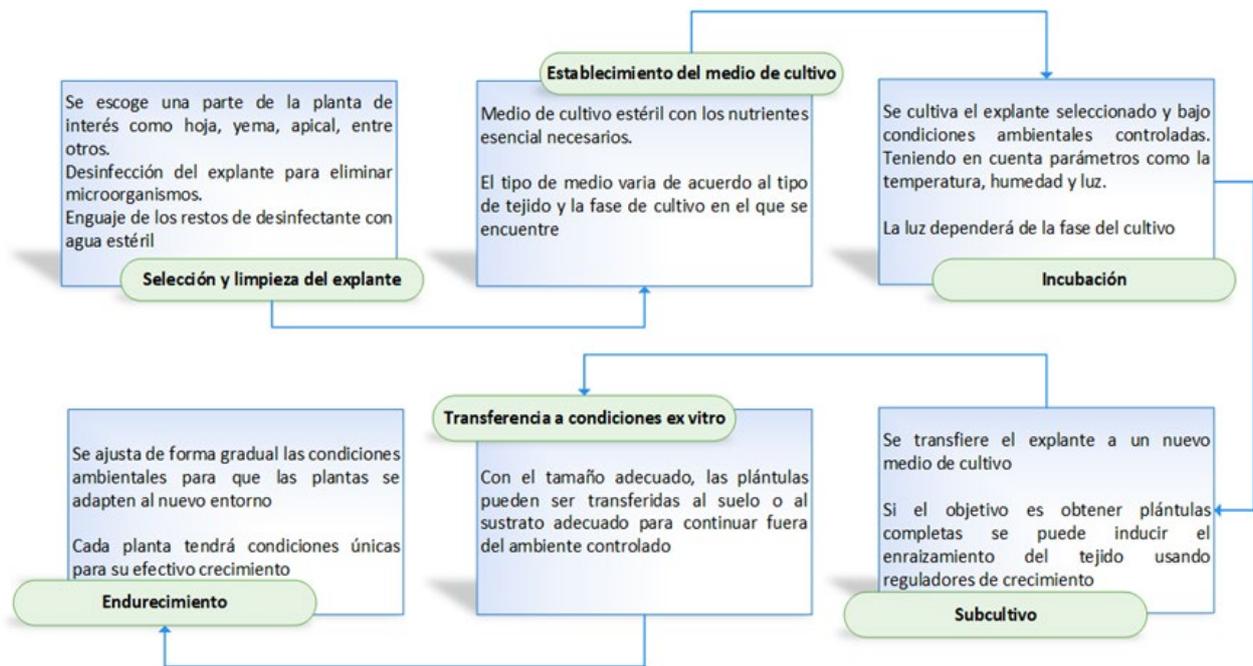


Figura 18. Etapas del cultivo *in vitro*.

El cultivo *in vitro* está fuertemente influenciado por el contenido hormonal del medio. Principalmente, se emplean auxinas⁵ (por ejemplo: ácido indolacético, ácido indolbutírico, ácido naftalenacético) y citoquininas⁶ (por ejemplo: cinetina, 6-benzilaminopurina, thidiazuron). La concentración de estas hormonas determinará el resultado del cultivo, ya sea la formación de callos, la organogénesis⁷ o el crecimiento de la planta.

Con las condiciones adecuadas, el explante podrá formar una masa amorfa conocida como callo, un tejido organizado que tiene la capacidad de producir órganos o embriones (Figura 19). Los callos tienen

variadas aplicaciones dentro de la biotecnología vegetal, como la generación de plantas nuevas, la propagación asexual, la obtención de suspensiones celulares y la producción de sustancias bioactivas, entre otras (Loyola Vargas & Ochoa Alejo, 2012). En plantas silvestres, la formación de callos obedece a diversas condiciones del entorno natural, como daños físicos, infecciones, podas naturales, regeneración vegetativa, cicatrización natural y estrés debido al cambio climático.

2.Explante: parte de la planta madre tomada para cultivo *in vitro*.
 3.Planta madre: organismo del que se toma la muestra original para desarrollar el cultivo *in vitro*.
 4.Célula meristemática: responsables del crecimiento vegetal; tienen capacidad de división.
 5.Auxinas: hormonas vegetales responsables del crecimiento vege-

tal; se relacionan con procesos de elongación y respuestas a la luz.
 6.Citoquininas: hormonas vegetales responsables del crecimiento vegetal; se relacionan con procesos de multiplicación celular.
 7.Organogénesis: evento de desarrollo que deriva en la formación de un órgano; en la planta, un órgano es una hoja, una raíz o un fruto, por ejemplo.

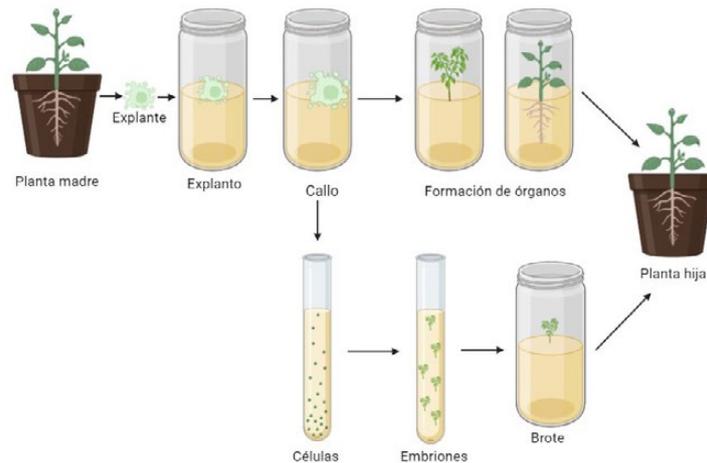


Figura 19. Cultivo de células y órganos vegetales.

El cultivo *in vitro* tiene una amplia gama de aplicaciones en diversos campos como la biología, la agricultura, la medicina y la biotecnología. Las principales aplicaciones de esta técnica se encuentran

en áreas como la micropropagación, la obtención de plantas libres de patógenos, la preservación de germoplasma, el mejoramiento genético y la biosíntesis de metabolitos, entre otras (Tabla 1).

Tabla 1. Aplicaciones del cultivo *in vitro*.

Aplicación	Descripción
Micropropagación de plantas	<p>La embriogénesis y la organogénesis permiten obtener clones somáticos y producir una considerable cantidad de plantas genéticamente idénticas a partir de una única planta madre. Esta técnica es útil para obtener plantas con características deseables y libres de enfermedades producidas por microorganismos, que en condiciones tradicionales no se podrían obtener (Calva & Pérez, 2005).</p> <p>La micropropagación de plantas podría contribuir a una producción sostenible de alimentos.</p>
Conservación de germoplasma	<p>La conservación de germoplasma⁸ permite mantener y preservar la diversidad genética de plantas, animales y microorganismos mediante diversas técnicas de cultivo y almacenamiento, formando colecciones conocidas como bancos. Estos almacenan tejidos y células en condiciones controladas, garantizando su disponibilidad para usos futuros.</p> <p>Existen dos sistemas de conservación del germoplasma <i>in vitro</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conservación a corto plazo (“Short-term storage”): se limita el crecimiento del explante al mínimo sin eliminarlo por completo. • Conservación a largo plazo (“Long-term storage”): se suprime totalmente el crecimiento y el metabolismo celular, principalmente por medio de la criopreservación⁹ de meristemas y embriones en etapas tempranas de desarrollo (Sánchez & Jiménez, 2010; Suárez, 2020).

8. Germoplasma: conjunto de genes que caracterizan a una especie; término utilizado para designar a la diversidad genética de las especies vegetales.

9. Criopreservación: almacenamiento de células, tejidos u órganos a temperaturas bajo cero.

Aplicación

Descripción

Mejoramiento genético

Antes de iniciar el mejoramiento genético de una especie, a menudo es esencial contar con un protocolo establecido de cultivo *in vitro*. El mejoramiento genético implica la incorporación de rasgos deseables mediante la modificación planificada y controlada de los genes. Este proceso puede utilizarse para fortalecer la resistencia a plagas y enfermedades, aumentar la tolerancia a condiciones ambientales adversas y mejorar la productividad. Algunas técnicas de mejoramiento genético que se benefician del cultivo *in vitro* son:

- Hibridación: cruce entre variedades genéticamente diferentes para obtener una tercera variedad (híbrido) que combine las características más favorables (Arzate Fernández et al., 2014; Goulet et al., 2017).
- Tecnologías de ADN recombinante: manipulación de la información genética de las células para insertarla en otro huésped, con el objetivo de otorgar o eliminar características específicas, conservar información en microorganismos o expresar y obtener proteínas.
- Plantas transgénicas: cultivos desarrollados para abordar desafíos agrícolas, como el control de plagas, la resistencia a enfermedades, crecimiento más rápido y la adaptación a condiciones ambientales cambiantes y extremas. Estas plantas se generan mediante la introducción de genes modificados, ya sea de la misma especie o de especies diferentes e incompatibles genéticamente (Gyves, 2014). Este tipo de manipulación es posible gracias a las condiciones de cultivo *in vitro*.
- Producción de proteínas y fármacos: producción a gran escala de sustancias terapéuticas.

3.1.2. Genética funcional

La genética funcional es una herramienta biotecnológica centrada en el estudio del funcionamiento y la expresión de los genes en los organismos (Kumar et al., 2021) (Figura 20). Esta disciplina permite identificar genes que controlan características deseables, como la resistencia a enfermedades, la calidad del fruto y el rendimiento por hectárea. Por otro lado, comprender los genes relacionados con la

producción de metabolitos con potencial medicinal y farmacológico es crucial para estandarizar la producción industrial con altos rendimientos. Por ende, el estudio y la comprensión de su función genética, junto con las condiciones que influyen en su expresión, son esenciales para desarrollar herramientas de mejoramiento de cultivos.

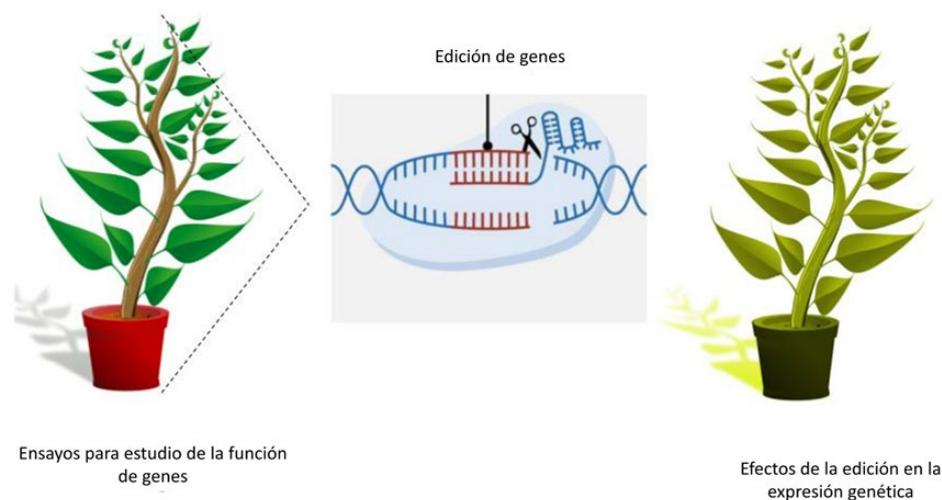


Figura 20. Diagrama sobre el uso de la edición de genes para la genética funcional.

La genética funcional podría dar lugar a variedades mejoradas que sean más resistentes a enfermedades, produzcan frutos de calidad superior y generen mayores cantidades de metabolitos de interés, lo que se traduciría en un aumento de la productividad. Un ejemplo de esto es el estudio de los genes involucrados en la producción de metabolitos con propiedades farmacológicas derivados de plantas medicinales (Sun et al., 2022).

En el contexto de la conservación de la diversidad genética, la genética funcional es fundamental también para entender los factores ambientales que afectan la expresión genética y que perjudican la supervivencia de ciertas especies en peligro de extinción. Al estudiar la función de los genes bajo condiciones de estrés biótico y abiótico, se pueden desarrollar estrategias para conservar y utilizar de manera efectiva la diversidad genética de las especies.

El estudio de genética funcional no se limita sólo a la función de uno o varios genes en la planta. Actualmente, con el desarrollo de las tecnologías ómicas¹⁰ es posible investigar las funciones de los genes en el contexto de las interacciones entre la planta y los microorganismos. En el contexto amazónico, esta

aplicación es especialmente relevante porque el desarrollo de una agricultura sostenible está vinculado al microbioma de las plantas (Jacoby et al., 2021). La actividad funcional que los microorganismos pueden ejercer sobre el desarrollo de la planta se puede estudiar con los siguientes objetivos:

1. Mejora de la nutrición vegetal: el establecimiento de simbiosis con micorrizas y rhizobium¹¹ se estudia a nivel genético para comprender las moléculas involucradas en la señalización que guía la interacción de la planta-simbionte (Sasse et al., 2018) .
2. Reducción de la invasión de patógenos: la presencia de bacterias de los taxones Proteobacteria y Actinobacteria se ha asociado con la supresión de enfermedades en plantas (Mendes et al., 2011).
3. Modulación de estrés tipo abiótico: la presencia del hongo *Colletotrichum tofieldiae* transfiere el macronutriente fósforo, promoviendo el crecimiento vegetal y aumentando la fertilidad en condiciones deficientes de fosfato (Hiruma et al., 2016).

10.Ciencias ómicas: disciplinas que estudian el conjunto completo de moléculas que componen un organismo, ya sea a nivel de ADN, ARN, proteínas o metabolitos.

11.En la simbiosis entre plantas, micorrizas y rhizobium, el hongo obtiene un lugar donde vivir y carbohidratos, mientras que la planta mejora su capacidad para absorber nutrimentos del suelo y del agua.

En resumen, la genética funcional es una herramienta esencial tanto en la agricultura como en la conservación de especies, al posibilitar la investigación de la regulación de la expresión de genes con el potencial de mejorar la producción sostenible y la seguridad alimentaria.

3.1.3. Técnicas de biología molecular

Para el año 2050, se proyecta que la población mundial alcanzará los 9.7 billones de personas (United Nations, 2019). Este crecimiento implicará un aumento en la demanda de alimentos, lo que a su vez requerirá una mayor producción de cultivos de importancia comercial a nivel global. Sin embargo, esta producción se ve afectada por los efectos del cambio climático, como variaciones de temperatura, sequías, lluvias intensas, inundaciones y otros fenómenos, así como por la aparición de patógenos (bacterias, hongos, virus) y plagas (insectos, nemátodos) que dañan los cultivos (Devi et al., 2022). Para abordar estos desafíos y desarrollar cultivos capaces de resistir los cambios ambientales y los ataques de plagas y patógenos, se han implementado diversas técnicas de biología molecular. Estas herramientas han permitido investigar los impactos del cambio climático en la producción agrícola.

3.1.3.1. Reacción en cadena de la polimerasa

La reacción en cadena de la polimerasa (polymerase chain reaction o PCR, por sus siglas en inglés) es una técnica que permite la amplificación exponencial de una región específica del ADN (Wages, 2005). Esta técnica facilita el estudio de los efectos del cambio climático en los cultivos al permitir la detección y cuantificación precisa de cambios genéticos y metabólicos en las plantas. Al amplificar secuencias específicas de ADN, la PCR permite identificar genes responsables de características relacionadas con la resistencia al estrés climático,

como la sequía, las altas temperaturas o la salinidad del suelo. Además, la PCR puede emplearse para analizar la expresión de genes clave relacionados con las respuestas adaptativas de las plantas al cambio climático, proporcionando información crucial para el desarrollo de variedades más resistentes y adaptadas a condiciones climáticas cambiantes.

La técnica consiste en mezclar en un tubo de reacción para PCR los siguientes componentes: el ADN molde (que contiene la secuencia de interés a amplificar), la ADN polimerasa (enzima que amplificará la secuencia de interés), un par de oligonucleótidos¹² o iniciadores complementarios al molde de ADN, los cuatro desoxirribonucleótidos-trifosfato (dNTP's: A, T, C, G¹³), iones (Mg^{2+}) y soluciones tampón (Wages, 2005). Posteriormente, esta mezcla se coloca en un termociclador, un equipo donde se lleva a cabo la amplificación de la secuencia de ADN de interés. El termociclador realiza tres pasos:

1. **Desnaturalización:** a una temperatura entre 90 a 95°C, se separan las dos cadenas del ADN molde.
2. **Alineamiento de oligonucleótidos:** a una temperatura entre 37° a 65°C, los iniciadores se unen a una región complementaria de las cadenas de ADN ya separadas.
3. **Extensión:** finalmente, la ADN polimerasa sintetiza una nueva cadena complementaria a partir del iniciador asociado a la cadena de ADN molde (temperatura entre 68° a 72°C).

Estos pasos se repiten entre 25 a 40 veces, o según la cantidad de ADN amplificado deseado.

La secuencia de ADN de interés que se desea amplificar puede revelar cambios en la secuencia de nucleótidos debido a inserciones, deleciones, duplicaciones, mutaciones y translocaciones¹⁴. Estos cambios en la

12. Par de oligonucleótidos (también conocidos como iniciadores, cebadores o "primers"): secuencia corta de ácido nucleico que actúa como punto de partida para la replicación del ADN.

13. Desoxirribonucleótidos-trifosfato (dNTP's): se refiere a los nucleótidos que componen el ADN: Adenina (A), Timina (T), Citosina (C) y Guanina (G).

14. Translocación: se refiere al proceso en el cual un fragmento de un cromosoma se rompe y se une a un cromosoma diferente; esto difiere de la inserción, donde se añade una secuencia de ADN, y de la deleción, donde una secuencia se corta sin que se una en otro sitio.

3.1.3.2. Edición genética mediante CRISPR/Cas9

secuencia de nucleótidos del ADN pueden usarse como marcadores moleculares¹⁵. Un marcador molecular es útil cuando es polimórfico¹⁶, heredable¹⁷ y específico. Algunos ejemplos de marcadores moleculares son (por sus acrónimos en inglés): RFLP, RAPD, AFLP, SSR, SNP (Amiteye, 2021; Hasan et al., 2021). Los marcadores moleculares desempeñan un papel crucial en el estudio de la biodiversidad, al permitir la identificación precisa de especies y la comprensión de sus relaciones evolutivas. Además, su uso facilita el monitoreo de poblaciones, la conservación de especies en peligro y la detección de cambios genéticos en respuesta a factores ambientales.

Actualmente, existen algunas variaciones de la técnica de PCR como: PCR anidada, PCR múltiple, PCR con transcriptasa inversa (RT-PCR por sus siglas en inglés), PCR cuantitativa (qRT-PCR por sus siglas en inglés), entre otras. Por ejemplo, la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa en tiempo real (qRT-PCR) permite amplificar y cuantificar el amplión (producto) generado a partir de ácidos nucleicos (como ADN o ARN). Para ello, además de los reactivos empleados en una PCR convencional, se añade un fluoróforo¹⁸ (que permite cuantificar el producto generado). Posteriormente, esta mezcla se lleva a un termociclador equipado con sensores de fluorescencia. Estos sensores detectan la longitud de onda emitida por el fluoróforo durante la amplificación de la secuencia de interés, permitiendo obtener, al mismo tiempo, una cuantificación precisa de la secuencia amplificada (Sidstedt et al., 2020).

Esta técnica es fundamental para la detección y cuantificación de genes que se expresan en muestras ambientales complejas, lo que resulta fundamental para comprender cómo las especies responden a cambios ambientales en su entorno natural.

Las tecnologías de edición genética han permitido alterar con precisión los genomas de los organismos, revolucionando la investigación a nivel mundial; entre ellas están: nucleasas¹⁹ con dedos de zinc (“zinc finger nucleases” o ZFNs, por sus siglas en inglés); nucleasas efectoras tipo activador de transcripción (“transcriptional activator-like effector nucleases” o TALENs, por sus siglas en inglés) y el sistema de repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas asociadas a proteínas (“clustered regularly interspaced short palindromic repeat and associated protein” o CRISPR/Cas9, por sus siglas en inglés) (Cota Coronado et al., 2020; Juma et al., 2022; Ma et al., 2014; Wan et al., 2021). Desde su desarrollo en 2013, la tecnología CRISPR/Cas9 ha ganado un gran interés debido a su alta eficiencia y tasa de éxito, y costo relativamente bajo en comparación con otras tecnologías (Juma et al., 2022).

La edición genética mediante CRISPR/Cas9 es una herramienta poderosa que permite estudiar los efectos del cambio climático en los cultivos al posibilitar la modificación precisa de genes relacionados con la tolerancia al estrés ambiental. Esta técnica permite a los investigadores introducir cambios genéticos en los cultivos para mejorar su resistencia a condiciones climáticas adversas, como sequías, altas temperaturas, inundaciones o suelos salinos. Además, CRISPR/Cas9 facilita la investigación de los mecanismos moleculares involucrados en las respuestas de las plantas al cambio climático mediante la manipulación de genes clave relacionados con estos procesos.

El sistema CRISPR/Cas9 emplea una secuencia corta de ARN guía (“guide RNA o gRNA”, por sus siglas en inglés) y la proteína asociada Cas9. Las secuencias que codifican tanto para el gRNA como para Cas9 se clonan²⁰ en un vector de expresión, como un plásmido²¹, que se inserta en el organismo de interés

15. Marcadores moleculares: “etiquetas genéticas” basadas en variaciones en el ADN que se utilizan para seleccionar características deseables en los cultivos.

16. Marcador polimórfico: variación en una secuencia de ADN que permite distinguir entre individuos de una especie.

17. Marcador heredable: variación en una secuencia de ADN que permite identificar y rastrear genes específicos a través de generaciones.

18. Fluoróforo: componente de una molécula que la hace fluorescente.

19. Nucleasas: enzimas que cortan el ADN o ARN. Tanto ZFN como TALENs usan nucleasas para cortar el ADN y facilitar la edición genética.

20. Clonadas: se refiere al proceso de clonación en el que secuencias de ADN se transfieren a un vector. En procesos posteriores, el vector se podría usar para infectar una célula eucariota (por ejemplo, la de una planta).

21. Plásmido: ADN sencillo y circular que se usa frecuentemente como vector.

3.1.3.3. Secuenciación

mediante métodos de transfección²². Una vez en el organismo, el gRNA identifica la secuencia de ADN objetivo, permitiendo que la proteína Cas9 se una a esa región específica. Luego, el gRNA guía a Cas9 para que realice cortes específicos en el ADN, generando rupturas de doble cadena (“DNA double-strand breaks” o DSBs), lo que activa los mecanismos de reparación del ADN *in vivo*, en células eucariotas.

Existen dos mecanismos de reparación: la unión de extremos no homólogos (“nonhomologous end join” o NHEJ, por sus siglas en inglés) y la reparación de recombinación homóloga (“homology direct repair” o HDR, por sus siglas en inglés). El mecanismo NHEJ se activa en ausencia de un ADN homólogo en el sitio DSBs, lo que puede generar mutaciones como inserciones, deleciones o sustituciones en la secuencia de ADN. Por otro lado, el mecanismo HDR se activa en presencia de un ADN homólogo²³, permitiendo la sustitución o inserción de secuencias específicas en el ADN de interés (Muiruri et al., 2021; Wan et al., 2021; Liu et al., 2017).

El genoma de un organismo o una célula contiene toda la información genética, almacenada en ácidos nucleicos de cadena simple o doble que presentan una secuencia de nucleótidos (A, T, C, G) en una disposición lineal o circular. Para determinar de manera rápida y precisa la secuencia de nucleótidos de un organismo o célula, se han desarrollado diversas tecnologías de secuenciación durante las últimas cinco décadas (Figura 21) (Giani et al., 2020).

El acceso a la secuencia completa del genoma completo ha transformado la biotecnología, proporcionando un conocimiento detallado de los genes y sus funciones. Esto ha impulsado el desarrollo de técnicas de edición genética más precisas, el diseño de cultivos mejorados con características deseables, y la producción de proteínas terapéuticas y enzimas con aplicaciones industriales (véase sección 4.3. *Tecnologías de conservación*).

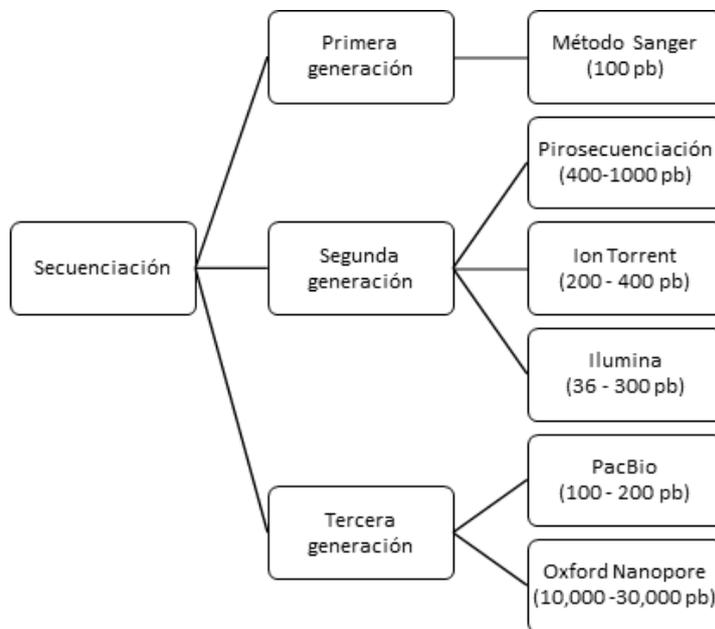


Figura 21. Tecnologías de secuenciación genómica.
Nota: entre paréntesis se presenta el tamaño de lectura de cada tecnología en pares de bases (pb). Información tomada de Satam et al. (2023).

22. Transfección: proceso de introducción del vector a una célula eucariota.

23. ADN homólogo: en un organismo diploide (como el ser humano), existen dos copias del mismo cromosoma. Estos se llaman cromosomas homólogos y contienen ADN homólogo.

3.1.4. Bioinsumos

Los bioinsumos se definen como productos derivados de compuestos, extractos de microorganismos o plantas, o de microorganismos vivos, diseñados para mejorar el rendimiento, calidad y/o sanidad de los cultivos vegetales, sin producir efectos negativos en los agroecosistemas (Figura 22). Estos bioinsumos pueden tener actividad pesticida, fertilizante o actuar como inductores de la defensa vegetal (Mamani de Marchese & Filippone, 2018). Se han desarrollado como una herramienta para promover la sostenibilidad global, haciendo los procesos industriales sean más viables y sostenibles, reduciendo costos de producción y, a su vez, minimizando el impacto ambiental. Además, pueden ser utilizados en el tratamiento de residuos orgánicos, aguas residuales, salud humana y sanidad animal (Logan & Rabaey, 2012; Christenson & Sims, 2011).

El impacto de los bioinsumos en los agroecosistemas incluye el aumento de las cosechas, la mejora en la productividad mediante la inhibición de fitopatógenos a través de diversos mecanismos de biocontrol, como la síntesis de fitohormonas, la prevención de enfermedades vegetales y la optimización de la capacidad de absorción de los nutrientes del suelo (Lourenço & Luna, 2023) (véase sección 4.3. *Tecnologías de conservación*). El impacto específico dependerá del tipo de bioinsumo y de su origen: biocontroladores y agentes fitosanitarios, biofertilizantes o bioestimulantes.

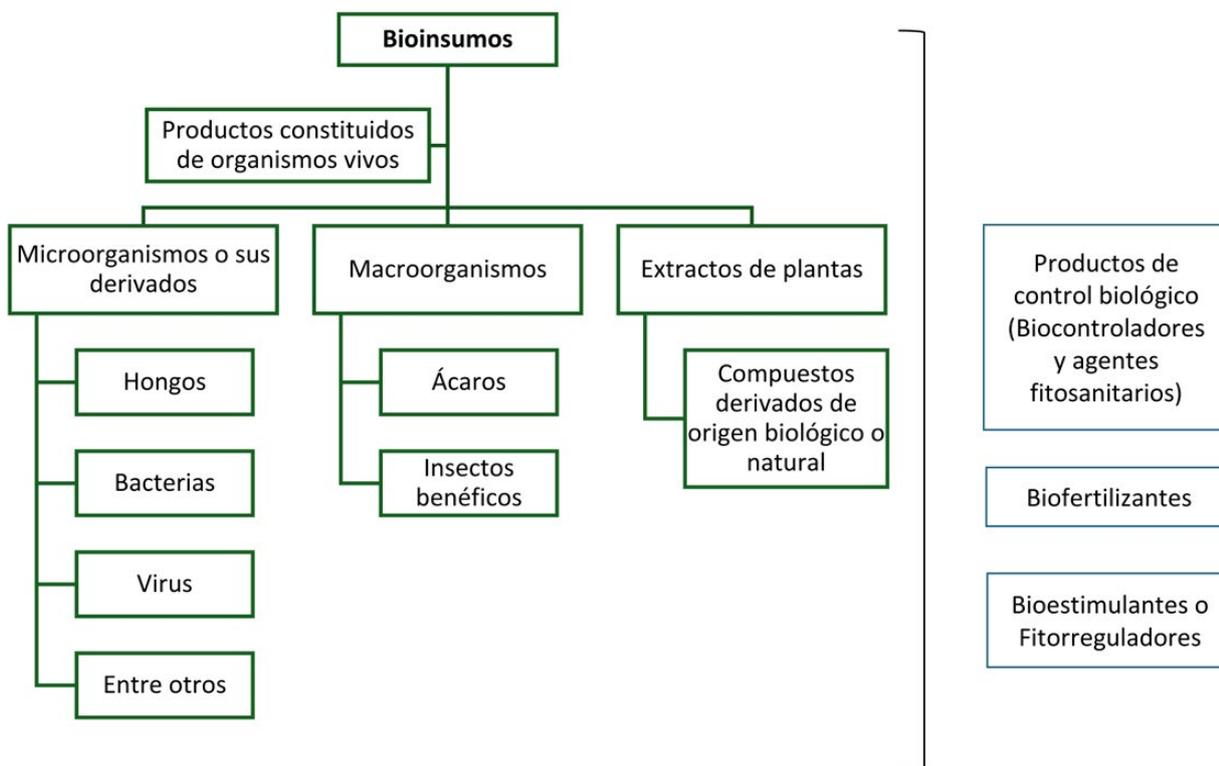


Figura 22. Constituyentes y clasificación de los bioinsumos. Información tomada de Goulet & Krotsch (2020).

3.1.4.1. Biocontroladores y agentes fitosanitarios

Los biocontroladores son un tipo de bioinsumos elaborados a partir de una o varias cepas de microorganismos beneficiosos, cuya función principal es mejorar la sanidad de las plantas mediante el control de poblaciones de fitopatógenos o insectos

plaga (Figura 23). Estos bioinsumos actúan a través de diversos mecanismos, como antagonismo²⁴, antibiosis²⁵, competencia, patogenicidad, producción de enzimas, resistencia inducida²⁶, etc.

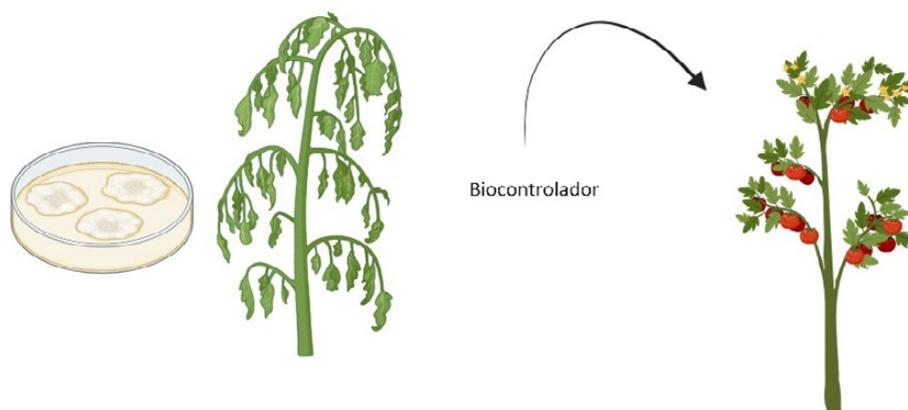


Figura 23. Representación de los efectos de un biocontrolador.

Por ejemplo, los hongos entomopatógenos²⁷ se utilizan para el control de insectos plaga, como *Metarhizium rileyi* para el control de *Spodoptera frugiperda*. Asimismo, el hongo *Paecilomyces lilacinus* se emplea en el control biológico de nemátodos, ya que produce toxinas que afectan el sistema nervioso central de esta plaga. Otros ejemplos incluyen *Trichoderma* spp. para el control de moho gris (*Botrytis cinérea*) en tomate (biocontrolador de patógenos foliares) y levaduras para el control de moho verde en naranjas (biocontrolador de patógenos de postcosecha).

Por otro lado, los agentes fitosanitarios son productos de origen biológico y de síntesis química que, al igual que los biocontroladores, mitigan los efectos negativos de las plagas en los cultivos. Los agentes fitosanitarios de origen biológico incluyen extractos de plantas y aceites esenciales. Debido a su

especificidad para combatir un número limitado de especies, estos agentes suelen ser biodegradables, constituyendo así una alternativa ecológica para el manejo de plagas (Kim et al., 2003).

En este grupo se incluyen productos derivados de plantas, utilizados históricamente en el control de plagas. Estos productos poseen propiedades tóxicas, repelentes o disuasorias contra insectos. Los aceites esenciales extraídos de plantas, por ejemplo, contienen una serie de metabolitos secundarios (generalmente mezclas complejas de monoterpenos, fenoles, sesquiterpenos) que les confieren propiedades para combatir plagas (Isman, 2006). Según algunos estudios, su modo de acción puede ser neurotóxico debido a su rápido efecto; además, hay evidencia de que interfieren con el neuromodulador octopamina²⁸ (Kostyukovsky et al., 2002; Enan, 2001).

24. Antagonismo: relación entre organismos en que uno inhibe o bloquea la actividad del otro.

25. Antibiosis: imposibilidad de vivir de un organismo en las inmediaciones de otro, debido a que el huésped secreta antibióticos.

26. Resistencia inducida: respuesta del sistema inmune a nivel molecular que se da de manera natural en respuesta a la infección de un patógeno.

27. Entomopatógeno: capaz de causar una enfermedad al huésped y, después de un corto período de incubación, la muerte.

28. Octopamina: neurotransmisor del sistema nervioso de los invertebrados que regula diversas funciones fisiológicas como el comportamiento y el metabolismo.

3.1.4.2. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son herramientas biotecnológicas que abarcan el uso de microorganismos, abonos verdes, estiércoles o extractos de plantas. Estos productos contienen microorganismos vivos que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo, aumentando así su fertilidad. Se pueden aplicar al suelo, a las semillas o directamente a las raíces de las plantas, donde tienden a colonizar la rizósfera o el interior de las plantas, mejorando la disponibilidad o el suministro de nutrientes, favoreciendo su crecimiento (Figura 24) (Vessey, 2003).

El uso de extractos de plantas como bioestimulantes ha despertado gran interés en los investigadores, ya que se ha demostrado que pueden mejorar el crecimiento de las plantas y su tolerancia al estrés abiótico (Ziosi et al., 2013). Sin embargo, a diferencia de otros bioestimulantes, la información sobre su actividad es limitada, ya que la mayoría de las investigaciones se han centrado en su uso como plaguicidas (Du Jardin, 2015).

El modo de acción de los biofertilizantes puede ser (Ismail et al., 2014; Gharib et al., 2008):

- Fijación de N₂ en el suelo y en los nódulos de las raíces de cultivos leguminosas, haciéndolo disponible para la planta.
- Solubilización de la forma insoluble del fosfato como el fosfato tricálcico, hierro y aluminio.
- Producción de hormonas y antimetabolitos que promueven el crecimiento de las raíces.
- Descomposición de la materia orgánica.
- Cuando se aplican a las semillas o al suelo, incrementan la disponibilidad de los nutrientes para la planta, lo que mejora el rendimiento sin efectos adversos para el ambiente.
- Aumentar los parámetros de crecimiento de las plantas, incluyendo altura, número de ramas, número de raíces, longitud de raíces, longitud de brotes y acumulación de materia seca en los órganos de la planta, etc.

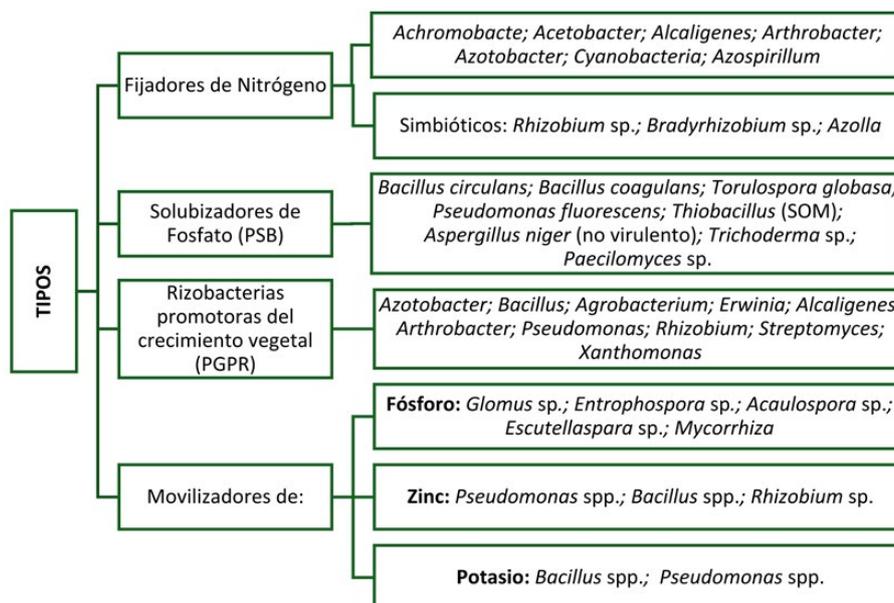


Figura 24. Principales tipos de biofertilizantes.
Fuente: Mahanty et al. (2017); Bhattacharyya & Jha (2012).

3.1.4.3. Bioestimulantes

Son sustancias o productos que, aplicados en pequeñas cantidades, promueven la germinación, desarrollo, crecimiento de plantas, floración, y/o desarrollo de los frutos. Además, mejoran el metabolismo vegetal y tienen la capacidad de modificar procesos fisiológicos, facilitando el crecimiento y aumentando la eficacia en la absorción de nutrientes, así como la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Figura 25) (Florio de Real & Guerrero, 2014; Du Jardin, 2012).

Según su origen y composición, los bioestimulantes se pueden clasificar en tres grupos principales: sustancias húmicas (HS), productos que contienen hormonas (HCP), y productos que contienen aminoácidos (AAP) (Kauffman et al., 2007). Sin embargo, esta clasificación puede ampliarse (Figura 26).

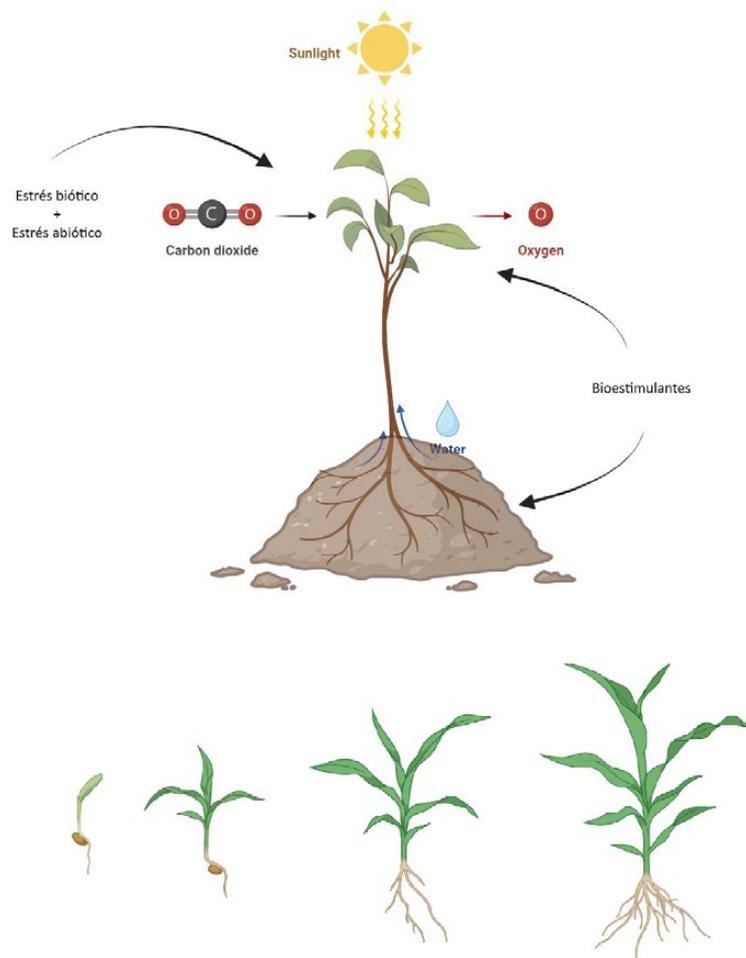


Figura 25. Representación gráfica del uso de bioestimulantes.
Sunlight: luz solar; *carbon dioxide:* dióxido de carbono, *oxygen:* oxígeno.

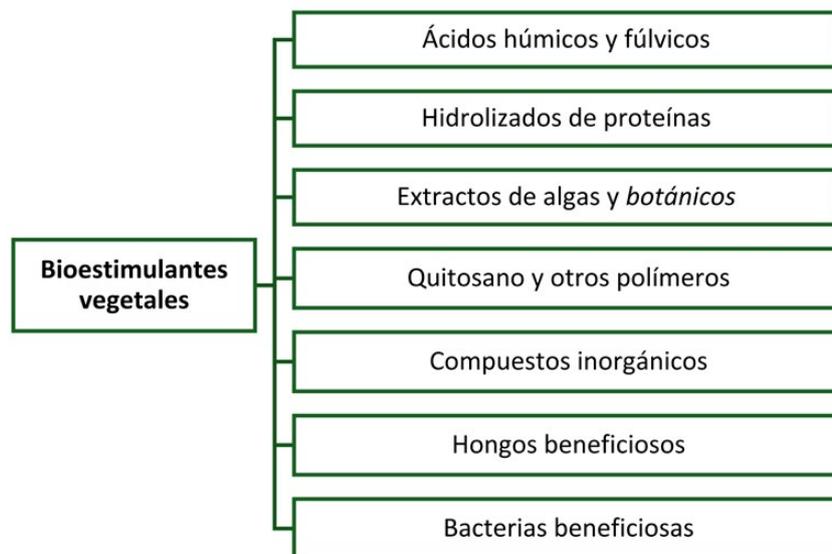


Figura 26. Principales categorías de bioestimulantes vegetales.
Fuente: Tarafdar (2022) y Du Jardin (2015).

Los bioestimulantes pueden aplicarse vía foliar o en el suelo y pueden derivarse de procesos de hidrólisis, fermentación o de extractos naturales. No son perjudiciales para el medio ambiente y contribuyen a la reducción de la degradación del suelo y la contaminación (Tarafdar, 2022). La actividad de los bioestimulantes varía según su composición y su mecanismo de acción puede ser:

- Ahorro energético²⁹.
- Suplemento de aminoácidos de alto consumo³⁰.
- Formación de sustancias biológicamente activas³¹. Producción de antioxidantes (incremento de polifenoles).
- Regulación del metabolismo de microelementos³².
- Regulación fisiológica bajo condiciones de estrés hídrico.

3.2. Herramientas de la biotecnología aplicadas a cultivos de la Amazonía Ecuatoriana

3.2.1. Cacao, *Theobroma cacao*

3.2.1.1. Cultivo *in vitro*

La propagación a través de embriogénesis somática es una alternativa eficaz para la rápida propagación clonal del cacao (Bustami & Werbrouck, 2024) (véase sección 3.1.1. Cultivo *in vitro*). Esta técnica ha sido evaluada en varios clones y especies de cacao (Tabla 2). Entre los explantes con mejor rendimiento, los pétalos florales del clon CCN51 han mostrado la producción de 7 a 10 embriones por callo (García et al., 2016). Sin embargo, la productividad de la embriogénesis o callogénesis depende de la genética del cultivar, por lo que es crucial adaptar protocolos específicos para cada cultivar.

29. Aumentan la capacidad de las plantas para aprovechar la luz solar y los nutrientes del suelo, lo que reduce la energía necesaria para el crecimiento y la producción de biomasa.

30. Aminoácidos de alto consumo en plantas: Glutamina, Glutamato, Alanina, Glicina, Arginina.

31. Estimulan la síntesis de compuestos como fitohormonas (ejemplo: auxinas y citoquininas) y enzimas, que desempeñan roles clave en el crecimiento y desarrollo vegetal.

32. Facilitan la absorción y transporte de microelementos, lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento y la salud vegetal.

Tabla 2. Ejemplos de aplicación de cultivo *in vitro* en *Theobroma cacao*

Objetivo y justificación del estudio	Resultados	Referencia
<p>Establecer protocolos eficientes para la propagación <i>in vitro</i> de diferentes genotipos de cacao, con el fin de lograr una alta frecuencia de formación de embriones, reducir costos de producción y fomentar el uso masivo de genotipos superiores de cacao propagados por embriogénesis somática.</p>	<p>Se desarrolló un protocolo de regeneración mediante embriones somáticos para los genotipos CCN51, TSH565, SYS4 y SYS13. Además, se logró la inducción del desarrollo hasta un estadio cotiledonar³³ del genotipo SYS24, y la inducción de masas proembriogénicas y embriones globulares³⁴ en SYS12 y SYS16.</p>	<p>Henao²¹ et al., 2018</p>
	<p>Se optimizó el protocolo para la producción de embriones somáticos en el clon comercial CCN51.</p>	<p>Garcia et al., 2016</p>
	<p>En los genotipos C1, C8 y C14 se demostró que la adición de polivinilpirrolidona³⁵ mejoró la inducción de la formación de callo en comparación con el control.</p>	<p>Modeste et al., 2017</p>
	<p>Adición de minerales al medio de cultivo para remover secreciones fenólicas.</p>	<p>KonÃ et al., 2021</p>
	<p>Adición de ácido ascórbico al medio de cultivo favorece la iniciación de embriones somáticos secundarios.</p>	<p>Pancaningtyas, 2021</p>
<p>Obtener compuestos fenólicos de cacao mediante cultivo <i>in vitro</i>. Aunque el cacao es rico en compuestos fenólicos con interesantes actividades farmacológicamente, no hay suficiente exploración de la obtención de estos compuestos a través de estos métodos.</p>	<p>Se demostró que el ácido salicílico juega un papel clave en la modulación del contenido total de polifenoles y la reducción de la actividad energética en callos.</p> <p>También se determinaron las condiciones óptimas para maximizar el contenido de polifenoles y el potencial reductor de hierro en extractos de callos indiferenciados, lo que guía investigaciones futuras.</p>	<p>Rosabal et al., 2022</p>

33. Cotiledonar: etapa del desarrollo embrionario en plantas donde los cotiledones, que son las primeras hojas del embrión, están formados y visibles.

34. Embrión globular: etapa temprana del desarrollo embrionario en plantas, caracterizada por una forma esférica u ovalada.

35. Polivinilpirrolidona: polímero utilizado en la industria farmacéutica, cosmética y de alimentos, debido a sus propiedades como agente estabilizante, espesante y aglutinante.

Objetivo y justificación del estudio	Resultados	Referencia
<p>Evaluar las características reproductivas de cuatro clones (MCBC1, PBC230, KKM22 y KKM4) propagados mediante embriogénesis somática.</p>	<p>Se encontraron similitudes en las características reproductivas de clones propagados mediante embriogénesis somática y los propagados por injerto convencional.</p> <p>Sin embargo, en el clon KKM4, derivado de la cultura de embriones cigóticos inmaduros, se vio afectada negativamente la eficiencia de la polinización y la estabilidad de las flores.</p>	<p>Entuni et al., 2021</p>
<p>Demostrar la viabilidad de la transformación con <i>Agrobacterium tumefaciens</i> y medir el porcentaje de éxito. El cultivo <i>in vitro</i> es una herramienta fundamental para la generación de plantas transgénicas y es necesario evaluar cultivares que sean exitosos a la transformación mediada por <i>Agrobacterium tumefaciens</i>.</p>	<p>Se insertaron los genes reporteros de proteína fluorescente amarilla (que indica una transferencia exitosa de ADN al fluorescer) y neomicina fosfotransferasa II (que proporciona resistencia a la neomicina). Estos genes son útiles para confirmar la integración del gen y, por tanto, el éxito de la transformación. Se reportó la transformación genética de la línea INIAPG-038 con una frecuencia del 3.7% usando como vector <i>Agrobacterium tumefaciens</i>.</p>	<p>Jones et al., 2022</p>
<p>Se ha observado que el cultivo <i>in vitro</i> en plantas modelo y de cultivo puede inducir a la metilación del ADN, esto puede aumentar tras procesos de crioconservación. La metilación del ADN implica la adición de grupos metilo a las citosinas en el ADN. Este proceso generalmente reduce la expresión génica al impedir que los factores de transcripción³⁶ se unan al ADN o al atraer proteínas que compacten la cromatina³⁷, dificultando así el acceso de la maquinaria transcripcional a los genes. Como resultado, los genes metilados suelen estar inactivos o silenciados. La dinámica de la metilación del ADN tiene el potencial de desencadenar variaciones fisiológicas o de desarrollo en plántulas procedentes de cultivos de tejidos <i>in vitro</i> (conocidas como variaciones somaclonales) (Revisar Tablas 1 y 2 de Ghosh et</p>	<p>al., 2021 para detalles de plantas confirmadas con estos cambios a nivel experimental). Un ejemplo relevante de una posible variación somaclonal en cacao es la observada en la respuesta a patógenos como <i>Phytophthora spp.</i>, que causan la enfermedad de la podredumbre negra. Durante el cultivo de tejidos, algunos clones de cacao habrían mostrado una resistencia mejorada a este patógeno; esto podría responder a un cambio en la fisiología de epicarpio y mesocarpio, relacionado con la presencia de contenido fenólico, peroxidasa ácida e IAA-oxidasa generadas en cultivo <i>in vitro</i>. Esta variación puede ser aprovechada para desarrollar variedades de cacao resistentes a enfermedades mediante selección y propagación (Tapi et al., 2020).</p>	

36.Factor de transcripción: proteína que se une a secuencias específicas del ADN para regular la transcripción de genes.

37.Cromatina: complejo de ADN y proteínas cuya función es empaquetar y organizar el ADN en una estructura compacta para formar los cromosomas.

3.2.1.2. Genética funcional y técnicas de biología molecular

Dentro de los avances más significativos en la biotecnología del cacao (véase sección 3.1.2. *Genética funcional*), destacan:

- a. Estudio de los genes que regulan la defensa inmune para desarrollar líneas resistentes a patógenos. Un ejemplo es la caracterización del gen *TcNPR3*, identificado como un represor de la respuesta inmune en el cacao contra la bacteria *Pseudonoma syringae* (Shi et al., 2013).
- b. Estudios en variedades de cacao para tolerar el cambio climático y cumplir con los criterios de calidad de la industria del chocolate. Por ejemplo, se ha identificado la implicación de genes en la biosíntesis de poliaminas, que se han reportado como agentes que aumentan la tolerancia a la sequía en el cacao (Bae et al., 2008).
- c. La secuenciación completa del genoma del cacao que ha contribuido al mejoramiento genético, facilitando la obtención de características agronómicas relevantes, como la resistencia a enfermedades y el aumento de la productividad (Wickramasuriya & Dunwell, 2018).
- d. Proteómica³⁸ como herramienta para estudiar la función de genes a nivel de proteínas. A través de esta técnica, se determinó el perfil proteómico del cacao en respuesta al patógeno *Moniliophthora perniciosa*. Se identificaron 316 proteínas involucradas en la germinación de las basidiosporas³⁹ del patógeno, lo que podría ayudar a desarrollar estrategias de control contra la enfermedad de escoba de bruja⁴⁰ (Mares et al., 2017).

La publicación del genoma del cacao (véase sección 3.1.3.3. *Secuenciación*), *Theobroma cacao* clon Matina 1-6, reporta un genoma de 445 Mpb y se ha estimado que 682 familias de genes codifican alrededor de 28 798 proteínas (Argout et al., 2011; Morrissey et al., 2019; Jaimez et al., 2022). Entre los genes descubiertos, destacan aquellos relacionados con la resistencia a enfermedades, la biosíntesis de lípidos y la síntesis de terpenoides.⁴¹ En el “Cocoa Genome Hub” están disponibles los genes que han sido anotados.

La disponibilidad de las secuencias genómicas de diversas variedades de cacao ha facilitado para la identificación de genes con interés agrícola, como los genes que codifican para la proteína estearoil-acil (ACP) desaturasa (SAD) (siglas en inglés “stearoyl-acyl carrier protein (ACP) desaturase (SAD)”) responsable de la biosíntesis de la mantequilla de cacao (Zhang et al., 2015). También se han investigado genes asociados con mecanismos de defensa contra patógenos importantes como *Phytophthora palmivora* y *Colletotrichum theobromicola* (Lahive et al., 2018). La principal base de datos para estudios de genética funcional es la base de datos abierta: “Cacao Genome Database” que ofrece varias herramientas bioinformáticas⁴² accesibles de forma gratuita.

La PCR (véase sección 3.1.3.1. *Reacción en Cadena de la Polimerasa*) se ha utilizado como metodología en la detección eficiente de virus de los brotes inflamados (CSSVD por sus siglas en inglés, “cacao swollen shoot virus”). Este virus es uno de los principales causantes de las pérdidas económicas, ya que puede destruir por completo los cultivos en un plazo de 3 o 4 años. La PCR es particularmente valiosa porque puede detectar el CSSVD en etapas tempranas, antes de

38. Proteómica: estudio de todas las proteínas presentes en un organismo o una muestra biológica en un momento dado.

39. Esporas: estructuras de hongos, musgos y helechos que liberan para dispersarse y reproducirse; las Basidiosporas son producidas por hongos basidiomicetos.

40. Enfermedad de escoba de bruja: causada por un hongo que provoca el crecimiento anormal de ramas en forma de escobas.

41. Terpenoides: polímeros cuya unidad es el isopreno; son compuestos presentes en plantas con funciones biológicas como defensa contra herbívoros o atracción de polinizadores. Los sesquiterpenos consisten en tres unidades de isopreno, mientras que los triterpenos tienen seis unidades.

42. Bioinformática: uso de herramientas informáticas para analizar y comprender datos biológicos, como secuencias de ADN.

3.2.1.3. Bioestimulantes

que aparezcan los síntomas visibles, lo que mejora significativamente los procedimientos de cuarentena para el intercambio y conservación del germoplasma de cacao (Quainoo et al., 2010). Un cebador diseñado para detectar todas las cepas de CSSVD puede mejorar aún más estos procedimientos.

En Ecuador, las colecciones de cacao iniciaron en la década de los cuarenta para seleccionar material de calidad y resistente a enfermedades. Actualmente, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) cuenta con un banco de germoplasma de cacao con más de 2 000 accesiones, incluyendo material genético internacional y peruano. Estas colecciones han sido caracterizadas tanto molecular como morfológicamente, y se han identificado materiales resistentes a las principales plagas (Vélez et al., 2022). La caracterización molecular se llevó a cabo utilizando la técnica de la PCR con marcadores moleculares (véase sección 3.1.3.1. *Reacción en Cadena de la Polimerasa*).

Tradicionalmente, se creía que el cacao fue domesticado por primera vez en Mesoamérica. Sin embargo, la investigación genómica indica que su mayor diversidad se encuentra en el alto Amazonas, lo que sugiere que esta región es su verdadero lugar de origen. Evidencias arqueológicas del sitio Santa Ana-La Florida en Ecuador, que incluyen granos de almidón de cacao, residuos de teobromina y ADN antiguo de hace aproximadamente 5 300 años, muestran el uso más antiguo de cacao en las Américas y confirman la región del alto Amazonas como el centro más antiguo de domesticación de cacao. El análisis de secuencias evaluó fragmentos de ADN antiguo amplificados mediante PCR, comparándolos con secuencias de ADN modernas (Zarrillo et al., 2018). Este estudio fue realizado por 15 instituciones, entre ellas, el INIAP en Ecuador.

El uso de bioinsumos como biocontroladores en el cacao ya ha sido objeto de estudio (véase sección 3.1.4. *Bioinsumos*). Cinco cepas aisladas de *Trichoderma* spp. fueron evaluadas tanto en laboratorio como en invernadero en semillas y plántulas de *Theobroma cacao*. La inoculación con estas cepas resultó en un aumento significativo en la longitud de la radícula y el hipocótilo en las semillas, así como en la altura y masa seca radicular de las plántulas, sugiriendo su potencial beneficio en la producción de cacao (de Sousa et al., 2021).

Diversos ensayos se han realizado para el manejo y control de la moniliasis, una enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri*. Se han aislado e identificado levaduras de tejidos de cacao con potencial para controlar *Moniliophthora roreri*. Cepas como *Hannaella pagnoccae* y *Rhodotorula paludigena* han mostrado mecanismos antagonistas prometedores, sugiriendo su potencial como agentes de biocontrol contra *Moniliophthora roreri* en la producción de cacao (Estrela Junior et al., 2022).

La selva amazónica ha sido determinada como el epicentro de “escoba de bruja”, enfermedad causada por *Moniliophthora perniciosa* y considerada la segunda enfermedad más importante en el cultivo de cacao, habiendo provocado crisis de producción en varios países (Sousa et al., 2021). Por ello, las estrategias de control incluyen enfoques genéticos, culturales, químicos y biológicos, conformando sistemas integrados de manejo. En este contexto, los bioinsumos juegan un papel crucial para el control biológico de enfermedades.

Un bioinsumo derivado del cacao es la cáscara del grano. Este subproducto se estudia para ser aprovechado en lugar de ser desperdiciado. La cáscara del grano del cacao tiene una composición rica en

fibra, compuestos volátiles, proteínas, minerales, vitaminas y polifenoles. Por ello, este material se ha estudiado para valorizar su potencial biofuncional en aplicaciones nutraceuticas como: antibacterianas, antivirales, anticancerígenas, anti-diabéticas, neuroprotectoras, cardiovasculares y antiinflamatorias, destacando sus posibles contribuciones a la salud humana (Camandola et al., 2019; Rojo et al., 2020).

3.2.2. Guayusa, *Ilex guayusa*

3.2.2.1. Cultivo *in vitro*

La producción de guayusa mediante prácticas tradicionales de cultivo no es suficiente para satisfacer la creciente demanda tanto a nivel nacional como internacional. Una alternativa viable es la propagación *in vitro*, que permite la producción de plantas de calidad con disminución en el uso del espacio (véase sección 3.1.1. Cultivo *in vitro*). En Ecuador, varios estudios se han enfocado en el efecto de la adición de hormonas a los medios de cultivo.

Uno de estos estudios en el país exploró el cultivo *in vitro* a través de la micropropagación de segmentos nodales. Con el objetivo de evaluar el efecto de auxinas como reguladores de crecimiento, se emplearon tres tratamientos con diferentes hormonas: ácido naftanelacético (ANA: 2,75 mgL⁻¹ y 5,50 mgL⁻¹) y ácido indolbutírico (AIB: 10,00 mg L⁻¹). Los resultados mostraron que los tratamientos con ANA produjeron un mayor número, longitud y volumen de las raíces en comparación con AIB, según el porcentaje de acodos enraizados. Sin embargo, las diferencias entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas (López et al., 2022).

Otro estudio realizado por Carvalho et al. (2021) desarrolló un protocolo de micropropagación de guayusa utilizando el medio mWPM (Modified Woody

Plant Medium) suplementado con carbón activado. Se utilizaron estacas de tallos como explantes y se obtuvieron resultados favorables en el desarrollo y elongación de los brotes y enraizamiento. Además, el estudio concluyó que el crecimiento de la guayusa está influenciado por la luz (Carvalho et al., 2021).

En 2018, Rodríguez Álvarez desarrolló el primer protocolo de micropropagación de *Ilex guayusa* a través del uso de segmentos nodales. Para el protocolo de desinfección, se probaron diferentes desinfectantes, tiempos de exposición, concentraciones y antibióticos. Posteriormente, se llevó a cabo la introducción de explantes, el enraizamiento de plántulas y la aclimatación de plantas (Rodríguez Álvarez, 2018).

En 2021, Saraguro Olalla estudió el efecto del ácido salicílico como elicitador en el cultivo *in vitro* para la producción de metabolitos secundarios a partir de hojas de guayusa. Se establecieron protocolos de desinfección y tratamiento fitosanitario, que mantuvieron los niveles de contaminación y oxidación por debajo del 15%. Una vez que definieron el mejor tratamiento de inducción a callogénesis, se utilizó ácido salicílico a una concentración de 0.02 mg/L y, tras 75 días de cultivo, se observó un aumento significativo en la proliferación de callos, en la concentración de fenoles totales (1.463 veces), flavonoides totales (1.524 veces) y cafeína (1.42 veces) en comparación con el control (Saraguro Olalla, 2021).

Otra investigación se centró en la propagación *in vitro* de *Ilex guayusa* y los efectos de diferentes tratamientos de luces LED en su desarrollo. Se utilizaron combinaciones de luces roja, azul, verde, rojo lejano con intensidades específicas, y un control con luz blanca. Se logró una micropropagación eficiente mediante el cultivo de estacas, con tasas de brotación del 83-100% (Zúñiga, 2021).

3.2.2.2. Estudios de genética funcional y técnicas de biología molecular

Torres et al. (2017), llevaron a cabo un primer estudio para determinar el grado de diversidad genética de *Ilex guayusa*, utilizando marcadores moleculares ISSR (Inter Simple Sequence Repeat) para su caracterización molecular (véase sección 3.1.3.1. *Reacción en Cadena de la Polimerasa*). Se analizaron 157 individuos de diferentes chakras en seis provincias amazónicas. Los resultados mostraron que el 82% de variabilidad genética observada se dio dentro de las poblaciones (intrapoblacional), mientras que el 18% ocurrió entre poblaciones (interpoblacional).⁴³ De acuerdo a sus resultados, se observó un bajo grado de diversidad genética para esta especie (Salvador et al., 2017).

En 2018, Rojas Kozisek desarrolló y estandarizó marcadores microsatélites específicos para *Ilex guayusa*, aplicándolos en un análisis de diversidad genética en tres parroquias de la provincia de Morona Santiago, Ecuador. Se extrajo ADN de muestras y se amplificó mediante PCR (véase sección 3.1.3.1. *Reacción en Cadena de la Polimerasa*). Los resultados indicaron una diversidad genética moderada en 29 marcadores genotipados. Se determinó que el 87% de la variabilidad genética es intrapoblacional, mientras que, el 13% es interpoblacional. Este estudio también reporta los primeros microsatélites⁴⁴ específicos para esta planta (Rojas Kozisek, 2018).

En 2019, Canseco Arrunategui investigó el efecto de los extractos etanólicos de *Ilex guayusa* y otras plantas en la expresión de genes Bax (pro-apoptótico)⁴⁵ y Bcl-2 (anti-apoptótico)⁴⁶ mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (qRT-PCR) (véase sección 3.1.3.1. *Reacción en Cadena de la Polimerasa*) en la línea celular de cáncer de mama (MCF-7). El extracto de guayusa a una concentración de 3 µg/µL mostró una actividad apoptótica baja en comparación con otras plantas (*Uncaria tomentosa* y *Croton lechleri*) (Canseco Arrunategui, 2019).

En 2021, se evaluó la diversidad genética y clonal de *Ilex guayusa* en tres zonas de la región amazónica de Ecuador, utilizando 17 marcadores SSR específicos. El estudio reveló un grado moderadamente bajo de diversidad genética y una alta diversidad clonal. De 88 muestras analizadas, se identificaron 71 genotipos multilocus únicos⁴⁷, destacando el uso de amplificación por PCR y marcadores moleculares para el genotipado (Erazo García et al., 2021) (véase sección 3.1.3.1. *Reacción en Cadena de la Polimerasa*).

Un estudio reciente de Astudillo (2021) utilizó la herramienta de secuenciación (véase sección 3.1.3.3. *Secuenciación*) para identificar la morfología y secuencias de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) asociados a la rizósfera y raíces de guayusa. Se identificó el morfotipo⁴⁸ de colonización y una presencia de arbusculos mayor al 45%. La secuenciación de la región ITS-2⁴⁹ reveló que los HMA de la familia Glomeraceae predominaban tanto en la rizósfera (70.4%) como en las raíces de la guayusa (97.6%)” (Astudillo, 2021).

3.2.2.3. Bioinsumos

En 2019, se investigó sobre la diversidad de hongos micorrícicos en *Ilex guayusa*, en un estudio liderado por la Universidad Yachay Tech, la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL) y la Universidad Regional Amazónica Ikiam. El enfoque estuvo en la relación simbiótica entre hongos micorrícicos arbusculares⁵⁰ (HMA) y la guayusa, con miras a la producción futura de biofertilizantes (véase sección 3.1.4. *Bioinsumos*). Se reportaron niveles de frecuencia e intensidad de micorrización superiores al 40%. Además, el grupo de Grupo de Microbiología Aplicada de Ikiam destacó, en su página web, que por primera vez se logró observar la existencia de estructuras de hongos micorrícicos arbusculares pertenecientes al

43. La variabilidad genética intra e interpoblacional se refiere a las diferencias en los genes dentro de un grupo de individuos (población) y entre diferentes grupos de individuos (poblaciones distintas). Esta variabilidad surge de la relación genética entre los individuos, quienes comparten ancestros comunes y, por tanto, comparten un conjunto de genes similares, medido por la similitud y frecuencia de los alelos presentes en la población.
44. Secuencias cortas diseñadas para unirse a regiones repetitivas de ADN llamadas microsatélites.
45. Pro-apoptótico: que promueve la muerte celular programada.
46. Anti-apoptótico: que inhibe la muerte celular programada.

47. El resultado indica un conjunto de secuencias de ADN que indican que el individuo es único y diferente al resto.
48. Morfotipo: rasgos visibles distintivos útiles para diferenciar dentro de un grupo de organismos.
49. ITS-2: región del ADN ribosómico en hongos que contiene secuencias repetitivas intergénicas específicas para la identificación y clasificación de cepas.
50. Arbuscular: se refiere a la estructura en forma de árbol estos hongos forman dentro de las células de las raíces de las plantas durante la simbiosis.

phylum Glomeromycota, tanto en esporas aisladas de la rizósfera⁵¹ como en hifas⁵² presentes en las raíces de guayusa (Naranjo Briceño, 2019).

3.2.3. Ayahuasca, *Banisteriopsis caapi*

Actualmente, no existen informes detallados y abundantes sobre las aplicaciones biotecnológicas de la ayahuasca en áreas como el cultivo *in vitro*, la genética funcional, la biología molecular o

los bioinsumos. Sin embargo, la literatura disponible (Tabla 3) sugiere un amplio potencial para la investigación en estos campos.

Tabla 3. Aplicación de las tecnologías en el cultivo de *Banisteriopsis caapi*

Tecnología	Resumen del estudio	Referencias
Cultivo <i>in vitro</i> (véase sección 3.1.1. Cultivo <i>in vitro</i>)	Se estudiaron las concentraciones adecuadas de desinfectantes necesarias para la introducción de las yemas axilares en condiciones <i>in vitro</i> , así como los niveles óptimos de reguladores de crecimiento.	Villegas, 2008
Biología molecular y genética funcional (véase sección 3.1.2. Genética funcional)	Se identificaron los mecanismos moleculares activados en cultivos de <i>Leishmania</i> con extractos de <i>Banisteriopsis caapi</i> . Se analizó la función genética del gen <i>EndoG</i> ⁵³ , independientemente a las caspasas y se exploró también la expresión del gen <i>GSK-3</i> ⁵⁴ .	Boni ²² faz Peralta, 2023
	Estudio de las interacciones moleculares y su relación con los posibles efectos antidepresivos que podría producir la <i>Banisteriopsis caapi</i> .	Rossi et al., 2022
	En el estudio se presenta el genoma del cloroplasto de <i>Banisteriopsis caapi</i> .	Ramachandran et al., 2018
Bioinsumos	No se encontraron reportes.	

51. Rizósfera: región del suelo que rodea las raíces de las plantas, donde ocurre la actividad microbiana que influye en la disponibilidad de nutrientes y en la salud de las plantas.

52. Hifas: ramificadas y filamentosas, constituyen la estructura principal de los hongos, expandiéndose en el suelo o sustrato

para absorber nutrientes y colonizar el ambiente circundante.

53. *EndoG*: codifica una enzima implicada en la muerte celular.

54. *GSK-3*: codifica una enzima que desempeña un papel crucial en varias vías de señalización celular.

Debido a las propiedades únicas de *Banisteriopsis caapi* y su uso tradicional, esta planta ha atraído el interés de investigaciones centradas en identificar los componentes responsables de sus propiedades fitoquímicas. La mayoría de los reportes científicos sobre esta planta se enfocan en ese ámbito.

Entre los estudios sobre las propiedades fitoquímicas de la ayahuasca, destaca el trabajo de Kawarishi et al. (1982), quienes aislaron alcaloides del tipo carbonilo. En 1984, McKenna realizó un análisis exhaustivo, cuantificando el contenido de alcaloides en la planta mediante espectrofotometría UV-Vis (McKenna et al., 2005). Además, Callaway registró tres de los alcaloides presentes en la bebida ayahuasca, mientras que Rodd (2008) revisó la literatura psicofarmacológica relacionada con la planta. Adicionalmente, un análisis fitoquímico realizado por Callaway y colaboradores en 2005, que incluyó 32 muestras de la planta de 22 ubicaciones en Brasil, reveló una notable variabilidad en el contenido de alcaloides (Callaway et al., 2005).

En un estudio realizado por Laine y colaboradores en el año 2014, se demostró que la especie exhibe actividad contra parásitos tropicales responsables de malaria y leishmaniasis. Otros estudios han proporcionado evidencia de sus propiedades antioxidantes, antibacterianas y antiinflamatorias. Además, Morales García et al. han asociado la planta con efectos antidepresivos (Laine et al., 2014; Morales García et al., 2017; Bravo Bernal, 2018; Santos et al., 2022). Algunas investigaciones también han explorado el potencial de *Banisteriopsis caapi* como una alternativa terapéutica para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson, así como sus efectos en el hipocampo del cerebro de ratas adultas y otros problemas neurodegenerativos (Djamshidian et al., 2016; Samoylenko et al., 2010; Castro et al., 2016; Simão et al., 2020).

3.2.4. Chuchuhuasi, *Maytenus laevis*

Hasta el momento, las investigaciones sobre el chuchuhuasi se han centrado exclusivamente en sus propiedades fitoquímicas. Otras posibles aplicaciones biotecnológicas no han recibido atención por parte de la comunidad científica. Principalmente, los estudios biotecnológicos sobre esta planta se relacionan con su uso en la medicina tradicional herbal (Huang et al., 2021; Gonzalez et al., 1982).

En 1964, se realizó un estudio en el que se administraron hojas pulverizadas de *Maytenus laevis* a ratones. Los resultados mostraron que la endotoxina, el zymosan y *Mycobacterium phlei* exhibieron actividad profiláctica⁵⁵ (DiCarlo et al., 1964). Además, de la corteza de la planta se han aislado dos nuevos alcaloides: sesquiterpeno-piridina, laevisina A y laevisina B, junto con siete alcaloides ya conocidos, cuyas estructuras se dilucidaron mediante técnicas avanzadas. En otro estudio, Nakagawa et al. (2004) evaluaron la actividad inductora de citoquinas⁵⁶ en células mononucleares⁵⁷ de sangre periférica humana. En 2016, Mouad (2016) realizó un análisis fitoquímico de la corteza, raíz y tallo de la planta, identificando 20 compuestos biológicamente activos, incluyendo seis nuevos, y caracterizando un polímero trans-1,4-polipreno⁵⁸.

Hasta la fecha, se han aislado aproximadamente 270 compuestos de *Maytenus laevis*, destacando entre ellos los triterpenoides, sesquiterpenoides y alcaloides. Se han llevado a cabo estudios que exploran sus propiedades antitumorales, antibacterianas, anti-inflamatorias, anti-feedante⁵⁹ y la inhibición del VIH (Huang, 2021; Gonzalez et al., 1982). Por ejemplo, la wilforina, alcaloide aislado de *Maytenus rigida*, ha demostrado acción como anti-feedante, lo que la convierte en una candidata prometedora para el

55. Actividad profiláctica: que puede usarse como medida preventiva para evitar el desarrollo de una enfermedad.

56. Citoquinas: proteínas del sistema inmunitario que regulan la respuesta inmunitaria y la comunicación entre células.

57. Células mononucleares: que tienen un solo núcleo, por ejemplo, los linfocitos y los monocitos.

58. Trans-1,4-polipreno: molécula de caucho natural que se utiliza en la fabricación de neumáticos y productos de goma.

59. Anti-feedante (antifeedant en inglés): compuestos tóxicos o de mal sabor producidos por las plantas para repeler herbívoros.

3.2.5. Yuca, *Manihot esculenta*

control de plagas y como posible agente insecticida natural (Monache et al., 1984). Además, el alcaloide macrólido maitansina, que fue aislado por primera vez de la especie *Maytenus serrata*, ha mostrado actividad inhibitoria *in vitro* frente a células del carcinoma humano de nasofaringe *in vivo* contra cinco sistemas tumorales de animales (Kupchan et al., 1977).

Los diversos estudios y descubrimientos relacionados con *Maytenus laevis* subrayan su notable potencial en el ámbito de la investigación biomédica, destacando su rica composición química y las múltiples actividades biológicas atribuidas a sus compuestos. Estos hallazgos abren nuevas perspectivas para futuras investigaciones, sugiriendo la existencia de aplicaciones biotecnológicas aún no exploradas.

Los estudios de biotecnología aplicados a la yuca se enfocan en mejorar su resistencia a enfermedades y sequías, así como en optimizar la calidad del almidón y conservar su diversidad genética (Tabla 4). Para alcanzar estos objetivos, se utilizan técnicas como la modificación genética, los marcadores moleculares y la biofortificación. Además, la biotecnología contribuye a mejorar la propagación de semillas y producción de proteínas de interés en la yuca. En conjunto, estas investigaciones buscan fortalecer la seguridad alimentaria y fomentar el desarrollo agrícola en regiones donde la yuca es un cultivo importante.

Tabla 4. Investigaciones realizadas en el cultivo de yuca (*Manihot esculenta*).

Área	Objetivo	Referencia
	Desarrollar un protocolo de propagación <i>in vitro</i> para variedades de yuca resistentes al virus del mosaico de la yuca.	Sessou et al., 2020
Cultivo <i>in vitro</i> (véase sección 3.1.1. Cultivo <i>in vitro</i>)	Evaluar el efecto de la luz en el desarrollo <i>in vitro</i> de diferentes variedades de yuca.	Zhou et al., 2023
	Desarrollar estructuras embrionarias organizadas (embriogénesis somática) en diferentes genotipos de yuca para su posterior transformación genética.	Magambo et al., 2024
Genética funcional (véase sección 3.1.2. Genética funcional)	Identificar el perfil de expresión y analizar la funcionalidad de la familia de genes relacionados al transportador de amonio en el cultivo de yuca.	Xia et al., 2023
	Identificar y analizar la funcionalidad de la familia de genes <i>RWP-RK</i> encargados de la absorción de nitrógeno en el cultivo de yuca.	Lin et al., 2023

Bioinsumos (véase sección 3.1.4. Bioinsumos)	Evaluar el efecto de <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (GB03) y <i>Microbacterium imperiale</i> (MAIIF2a) sobre la resistencia de la yuca ante <i>Fusarium solani</i> , causante de la podredumbre de la raíz.	Freitas et al., 2019
	Evaluar el efecto de <i>Bacillus subtilis</i> sobre <i>Xanthomonas phaseoli</i> pv. <i>Manihotis</i> , causante del tizón bacteriano de la yuca.	Feng et al., 2023
qRT-PCR (véase sección 3.1.3.1. Reacción en Cadena de la Polimerasa)	Cuantificar la expresión de genes relacionados a la tolerancia ante sequías.	Orek et al., 2020, Dong et al., 2022, Zheng et al., 2023.
	Cuantificar la expresión de genes relacionados a la tolerancia a la salinidad.	Li et al., 2018, Zheng et al., 2023.
	Cuantificar la expresión de genes relacionados a infecciones causadas por: Bacterias: <i>Xanthomonas</i> spp. causante del tizón bacteriano. Mohos: <i>Macrophomina pseudophaseolina</i> causante del desecamiento de la raíz.	Hong et al., 2021, Dos Santos Silva et al., 2021, Zheng et al., 2023.
CRISPR/Cas9 (véase sección 3.1.3.2. Edición Genética mediante CRISPR/Cas9)	Mutar el gen <i>MePDS</i> que codifica la expresión de enzimas que participan en la biosíntesis de carotenoides.	Odipto et al., 2017
	Mutar los genes <i>CYP79D1</i> y <i>CYP79D2</i> que codifican enzimas que participan en la parte inicial de la biosíntesis de glúcidos cianogénicos.	Gomez et al., 2022
	Mutar los genes <i>nCBP-1</i> y <i>nCBP-2</i> que codifican la proteína de unión a la caperuza (cap-binding protein). Esta interviene en la infección causada por los virus del género <i>Ipomovirus</i> que causan la enfermedad rayado marrón.	Gomez et al., 2019

Los estudios sobre este cultivo son amplios y variados; no obstante, en la Tabla 4 se destacan los más relevantes y actuales, en particular aquellos reali-

zados utilizando las herramientas biotecnológicas descritas en la sección 3.1 de este libro.

Referencias

- Amiteye, S. (2021). Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding. *Heliyon*, 7(10).
- Argout, X., Salse, J., Aury, J.-M., Gaultier, M. J., Droc, G., Gouzy, J., Allegre, M., Chaparro, C., Legavre, T., Maximova, S. N., Abrouk, M., Murat, F., Fouet, O., Poulain, J., Ruiz, M., Roguet, Y., Rodier-Goud, M., Barbosa-Neto, J. F., Sabot, F., ... Lanaud, C. (2011). The genome of *Theobroma cacao*. *Nature Genetics*, 43(2), 101-108.
- Arzate Fernandez, A. M., Reyes Diaz, J. I., & Piña Escutia, J. L. (2014). *Técnicas tradicionales y biotecnológicas en el mejoramiento genético del rosal*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Astudillo, A. (2021). *Identificación Morfológica y Molecular de Hongos Arbusculares Asociados a Las Plantas de guayusa (Ilex Guayusa Loes.) de La Comunidad San Del Cantón Tena, Ecuador*. [Tesis de pregrado, Universidad Regional Amazónica Ikiám].
- Bae, H., Kim, S.-H., Kim, M. S., Sicher, R. C., Lary, D., Strem, M. D., Natarajan, S., & Bailey, B. A. (2008). The drought response of *Theobroma cacao* (cacao) and the regulation of genes involved in polyamine biosynthesis by drought and other stresses. *Plant Physiology and Biochemistry: PPB*, 46(2), 174-188.
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 28(4), 1327-1350.
- Bonifaz Peralta, B. A. (2023). *Determinación de mecanismos moleculares responsables de la actividad antiparasitaria in vitro de Banisteriopsis caapi (β-carbolinas) contra Leishmania spp.* [Tesis de maestría, Universidad Internacional SEK]. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5008>
- Bravo Bernal, F. M. (2018). *Comparación de la capacidad antioxidante de cuatro metabolitos secundarios presentes en la planta amazónica Banisteriopsis caapi (Ayahuasca) frente a la N-acetil cisteína, fármaco antioxidante comercial* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16243>
- Bustami, M. U., & Werbrouck, S. P. O. (2024). Cyclic Somatic Embryogenesis in Indonesian Elite *Theobroma cacao* L. Clones. *Horticulturae*, 10(1).
- Callaway, J. C., Brito, G. S., & Neves, E. S. (2005). Phytochemical analyses of *Banisteriopsis caapi* and *Psychotria viridis*. *Journal of Psychoactive Drugs*, 37(2), 145-150.
- Calva, G. C. & Pérez (2005). Cultivo de células y tejidos vegetales: Fuente de alimentos para el futuro. *Revista Digital Universitaria (1607 - 6079)*. Vol. 6, No.11 (2005).
- Camandola, S., Plick, N., & Mattson, M. P. (2019). Impact of Coffee and Cacao Purine Metabolites on Neuroplasticity and Neurodegenerative Disease. *Neurochemical Research*, 44(1), 214-227.
- Canseco Arrunategui, M. A. (2019). *Estudio de la expresión de genes inductores de apoptosis en línea celular mcf-7 en respuesta al tratamiento de los extractos de las plantas Ilex guayusa, Uncaria tomentosa y Croton lechleri*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30428>
- Carvalho, S. D., Ortega, M., Orellana, M., Rodríguez, M., Folta, K. M., & Torres, M. de L. (2021). *In vitro* propagation of the Amazonian medicinal plant guayusa (*Ilex guayusa*) and effects of light in the growth and development of this shade tolerant plant. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 147(3), 503-517.

- Castro, A., Ramos, N., Juárez, J., Lnostroza, L., Ponce, J., Choquesillo, F., Félix, L., Escudero, J., Navarro, A., Huaman, S., Machaca, B., López, J., Ramirez, E., Ruiz, J., & Ruez, J. (2016). Efecto de la ingestión de *Banisteriopsis caapi* y *Psychotria viridis* «Binomio ayahuasca» en el hipocampo del cerebro de ratas. *Anales de la Facultad de Medicina*, *77*(4), 339-344.
- Christenson, L., & Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, *29*(6), 686-702.
- Cota-Coronado, J. A., Sandoval-Ávila, S., Gaytan-Dávila, Y. P., Díaz, N. F., Vega-Ruiz, B., Padilla-Camberos, E., & Díaz-Martínez, N. E. (2020). Nuevos modelos transgénicos para el estudio de la enfermedad de Parkinson basados en sistemas de edición con nucleasas. *Neurología*, *35*(7), 486-499.
- de Sousa, W. N., Brito, N. F., Felsemburgh, C. A., Vieira, T. A., & Lustosa, D. C. (2021). Evaluation of *Trichoderma* spp. Isolates in Cocoa Seed Treatment and Seedling Production. *Plants (Basel, Switzerland)*, *10*(9), 1964.
- Devi, B., Kumar, M. N., Chutia, M., & Bhattacharyya, N. (2022). Abiotic and biotic stress challenges of Cassava in changing climate and strategies to overcome: A review. *Scientia Horticulturae*, *305*, 111432.
- DiCarlo, F. J., Haynes, L. J., Sliver, N. J., & Phillips, G. E. (1964). Protection of Mice Against Gram-Positive Bacteria with *Maytenus laevis* and Other RES Stimulants. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, *116*(1), 195-197.
- Djamshidian, A., Bernschneider-Reif, S., Poewe, W., & Lees, A. J. (2016). *Banisteriopsis caapi*, a Forgotten Potential Therapy for Parkinson's Disease? *Movement Disorders Clinical Practice*, *3*(1), 19.
- Dong, S., Xiao, L., Li, Z., Shen, J., Yan, H., Li, S., Liao, W., & Peng, M. (2022). A novel long non-coding RNA, *DIR*, increases drought tolerance in cassava by modifying stress-related gene expression. *Journal of Integrative Agriculture*, *21*(9), 2588-2602.
- Dos Santos-Silva, C. A., Vilela, L. M. B., de Oliveira-Silva, R. L., da Silva, J. B., Machado, A. R., Bezerra-Neto, J. P., & Benko-Iseppon, A. M. (2021). Cassava (*Manihot esculenta*) defensins: prospection, structural analysis and tissue-specific expression under biotic/abiotic stresses. *Biochimie*, *186*, 1-12.
- Du Jardin, P. (2012). *The Science of Plant Biostimulants – A bibliographic analysis, Ad hoc study report*. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/169257/1/Plant_Biostimulants_final_report_bio_2012_en.pdf
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, *196*, 3-14.
- Enan, E. (2001). Insecticidal activity of essential oils: Octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*, *130*(3), 325-337.
- Entuni, G., Nori, H., Edward, R., & bin Mohammad Jaafar, A. K. (2021). Reproductive characteristics of the selected cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones after regenerated from the somatic embryogenesis culture. *Trends in Sciences*, *18*(24), 1406-1406.
- Erazo-García, M. P., Guadalupe, J. J., Rowntree, J. K., Borja-Serrano, P., Espinosa de los Monteros-Silva, N., & Torres, M. de L. (2021). Assessing the Genetic Diversity of *Ilex guayusa* Loes., a Medicinal Plant from the Ecuadorian Amazon. *Diversity*, *13*(5).
- Estrela Junior, A. da S., Solís, K., Pimenta Neto, A. A., Vera, D. I., Garzón, I., Peñaherrera, S., Diorato, V. S., Gramacho, K. P., & Laranjeira, D. (2022). Effect of antagonistic yeasts from cacao tissues on controlling growth and sporulation of *Moniliophthora roreri*. *Biological Control*, *172*, 104956.
- Feng, Y., Zhang, Y., Shah, O. U., Luo, K., & Chen, Y. (2023). Isolation and Identification of Endophytic Bacteria *Bacillus* sp. *ME9* That Exhibits Biocontrol Activity against *Xanthomonas phaseoli* pv. *Manihotis*. *Biology*, *12*(9).

- Florio De Real, S., & Guerrero, W. (2014). *Bioestimulantes en el crecimiento y desarrollo del fruto del pimentón: Fruto de pimentón* (*Capsicum annuum*). Editorial Académica Española.
- Freitas, M. A., Medeiros, F. H. V., Melo, I. S., Pereira, P. F., Peñaflor, M. F. G. V., Bento, J. M. S., & Paré, P. W. (2019). Stem inoculation with bacterial strains *Bacillus amyloliquefaciens* (GB03) and *Microbacterium imperiale* (MAIIF2a) mitigates Fusarium root rot in cassava. *Phytoparasitica*, 47(1), 135-142.
- Garcia, C., Corrêa, F., Findley, S., Almeida, A.-A., Costa, M., Motamayor, J. C., Schnell, R., & Marelli, J.-P. (2016). Optimization of somatic embryogenesis procedure for commercial clones of *Theobroma cacao* L. *African Journal of Biotechnology*, 15(36).
- Gharib, F. A., Moussa, L., & Massoud, O. N. (2008). Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10(4), 381-387.
- Ghosh, A., Igamberdiev, A.U. & Debnath, S.C. (2021). Tissue culture-induced DNA methylation in crop plants: a review. *Mol Biol Rep* 48, 823–841.
- Giani, A. M., Gallo, G. R., Gianfranceschi, L., & Formenti, G. (2020). Long walk to genomics: History and current approaches to genome sequencing and assembly. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 9-19.
- Gomez, M. A., Berkoff, K. C., Gill, B. K., Iavarone, A. T., Lieberman, S. E., Ma, J. M., Schultink, A., Karavolias, N. G., Wyman, S. K., Chauhan, R. D., Taylor, N. J., Staskawicz, B. J., Cho, M.-J., Rokhsar, D. S., & Lyons, J. B. (2022). CRISPR-Cas9-mediated knockout of *CYP79D1* and *CYP79D2* in cassava attenuates toxic cyanogen production. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1079254.
- Gomez, M. A., Lin, Z. D., Moll, T., Chauhan, R. D., Hayden, L., Renninger, K., Beyene, G., Taylor, N. J., Carrington, J. C., Staskawicz, B. J., & Bart, R. S. (2019). Simultaneous CRISPR/Cas9-mediated editing of cassava *elf4E* isoforms *nCBP-1* and *nCBP-2* reduces cassava brown streak disease symptom severity and incidence. *Plant Biotechnology Journal*, 17(2), 421-434.
- Gonzalez, J. G., Monache, G. D., Monache, F. D., & Marini-Bettolò, G. B. (1982). Chuchuhuasha—A drug used in folk medicine in the Amazonian and Andean areas. A chemical study of *Maytenus laevis*. *Journal of Ethnopharmacology*, 5(1), 73-77.
- Goulet, B. E., Roda, F., & Hopkins, R. (2017). Hybridization in Plants: Old Ideas, New Techniques. *Plant Physiology*, 173(1), 65-78.
- Goulet, F., & Krotsch, T. (2020). Políticas públicas para los bioinsumos hacia un espacio de intercambio en América Latina y El Caribe. *Blog IICA*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/20515>
- Gyves, E. M. de. (2014). *Plantas Transgénicas: Beneficios y Riesgos*. Emimem Ediciones.
- Hasan, N., Choudhary, S., Naaz, N., Sharma, N., & Laskar, R. A. (2021). Recent advancements in molecular marker-assisted selection and applications in plant breeding programmes. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 128.
- Henao, A. M., de la Hoz Vasquez, T., Ospina Osorio, T. M., Garcés, L. A., & Urrea Trujillo, A. I. (2018). Evaluation of the potential of regeneration of different Colombian and commercial genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.) via somatic embryogenesis. *Scientia Horticulturae*, 229, 148-156.

- Hiruma, K., Gerlach, N., Sacristán, S., Nakano, R. T., Hacquard, S., Kracher, B., Neumann, U., Ramírez, D., Bucher, M., O'Connell, R. J., & Schulze-Lefert, P. (2016). Root Endophyte *Colletotrichum tofieldiae* Confers Plant Fitness Benefits that Are Phosphate Status Dependent. *Cell*, *165*(2), 464-474.
- Hong, Y., Xiao, Y., Song, N., Zhu, S., Zhao, R., Li, K., Geng, M., Yu, X., Wang, H., Xia, W., & Chen, Y. (2021). Identification and characterization of *MeERF* genes and their targets in pathogen response by cassava (*Manihot esculenta*). *The Crop Journal*, *9*(5), 1145-1153.
- Huang, Y.-Y., Chen, L., Ma, G.-X., Xu, X.-D., Jia, X.-G., Deng, F.-S., Li, X.-J., & Yuan, J.-Q. (2021). A Review on Phytochemicals of the Genus *Maytenus* and Their Bioactive Studies. *Molecules*, *26*(15), 4563.
- Ismail, E., Mohamed, W., Khattab, F., & El-Sherif, F. (2014). Effect of Manure and Bio-fertilizers on Growth, Yield, Silymarin content, and protein expression profile of *Silybum marianum*. *Advance in Agriculture and Biology*, *1*(1).
- Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, *51*, 45-66.
- Jacoby, R. P., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2021). Pinpointing secondary metabolites that shape the composition and function of the plant microbiome. *Journal of Experimental Botany*, *72*(1), 57-69.
- Jaimez, R. E., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, L. A., Cedeño-García, G., Sotomayor Cantos, I., & Arteaga, F. (2022). *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: A comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ*, *10*, e12676.
- Jones, J., Zhang, E., Tucker, D., Rietz, D., Dahlbeck, D., Gomez, M., Garcia, C., Marelli, J.-P., Livingstone, D., Schnell, R., Staskawicz, B., & Cho, M.-J. (2022). Screening of cultivars for tissue culture response and establishment of genetic transformation in a high-yielding and disease-resistant cultivar of *Theobroma cacao*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, *58*(1), 133-145.
- Juma, B. S., Mukami, A., Mweu, C., Ngugi, M. P., & Mbinda, W. (2022). Targeted mutagenesis of the *CYP79D1* gene via CRISPR/Cas9-mediated genome editing results in lower levels of cyanide in cassava. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1009860.
- Kauffman, G. L., Kneivel, D. P., & Watschke, T. L. (2007). Effects of a Biostimulant on the Heat Tolerance Associated with Photosynthetic Capacity, Membrane Thermostability, and Polyphenol Production of Perennial Ryegrass. *Crop Science*, *47*(1), 261-267.
- Kawanishi, K., Uhara, Y., & Hashimoto, Y. (1982). Shihunine and Dihydroshihunine from *Banisteriopsis caapi*. *Journal of Natural Products*, *45*(5), 637-639.
- Kim, S.-I., Roh, J.-Y., Kim, D.-H., Lee, H.-S., & Ahn, Y.-J. (2003). Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Stored Products Research*, *39*(3), 293-303.
- Konã, D., Nã, O., Kouassi, K. M., & Koffi, K. E. (2021). Use of mineral salts to remove recalcitrance to somatic embryogenesis of improved genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.). *African Journal of Biotechnology*, *20*(1), 33-42.

- Kostyukovsky, M., Rafaeli, A., Gileadi, C., Demchenko, N., & Shaaya, E. (2002). Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: Possible mode of action against insect pests. *Pest Management Science*, *58*(11), 1101-1106.
- Kumar, R., Sharma, V., Suresh, S., Ramrao, D. P., Veershetty, A., Kumar, S., Priscilla, K., Hangargi, B., Narasanna, R., Pandey, M. K., Naik, G. R., Thomas, S., & Kumar, A. (2021). Understanding Omics Driven Plant Improvement and de novo Crop Domestication: Some Examples. *Frontiers in Genetics*, *12*.
- Kupchan, S. M., Komoda, Y., Branfman, A. R., Sneden, A. T., Court, W. A., Thomas, G. J., Hintz, H. P. J., Smith, R. M., & Karim, A. (1977). Tumor inhibitors. 122. The maytansinoids. Isolation, structural elucidation, and chemical interrelation of novel ansa macrolides. *The Journal of Organic Chemistry*, *42*(14), 2349-2357.
- Lahive, F., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2018). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *39*(1), 5.
- Laine, A. E., Lood, C., & Koskinen, A. M. P. (2014). Pharmacological Importance of Optically Active Tetrahydro- β -carboline and Synthetic Approaches to Create the C1 Stereocenter. *Molecules*, *19*(2).
- Li, R., Yuan, S., He, Y., Fan, J., Zhou, Y., Qiu, T., Lin, X., Yao, Y., Liu, J., Fu, S., Hu, X., & Guo, J. (2018). Genome-Wide Identification and Expression Profiling Analysis of the Galactinol Synthase Gene Family in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Agronomy*, *8*(11).
- Lin, C., Guo, X., Yu, X., Li, S., Li, W., Yu, X., An, F., Zhao, P., & Ruan, M. (2023). Genome-Wide Survey of the *RWP-RK* Gene Family in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and Functional Analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(16).
- Liu, X., Wu, S., Xu, J., Sui, C., & Wei, J. (2017). Application of CRISPR/Cas9 in plant biology. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, *7*(3), 292-302.
- Logan, B. E., & Rabaey, K. (2012). Conversion of Wastes into Bioelectricity and Chemicals by Using Microbial Electrochemical Technologies. *Science*, *337*(6095), 686-690.
- López, C. E. M., Litardo, R. C. M., & Vivas, M. L. V. (2022). Efecto de reguladores de crecimiento para la propagación vegetativa de guayusa (*Ilex guayusa* L.). *ECOAgropecuaria. Revista Científica Ecológica Agropecuaria*, *1*(2).
- Loyola-Vargas, V. M., & Vázquez-Flota, F. (Eds.). (2006). *Plant cell culture protocols* (Vol. 318). Humana Press.
- Ma, Y., Zhang, L., & Huang, X. (2014). Genome modification by CRISPR/Cas9. *The FEBS Journal*, *281*(23), 5186-5193.
- Magambo, S., Nabatanzi, A., Alicai, T., Wembabazi, E., Oketcho, K., Nakalembe, I., & Wagaba, H. (2024). Somatic embryo production and *GFP* genetic transformation in elite Ugandan cassava genotypes. *Scientific African*, *23*, e02039.
- Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., & Tribedi, P. (2017). Biofertilizers: A potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(4), 3315-3335.
- Mamani de Marchese, A., & Filippone, M. P. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, *38*(1), 9-21.
- Lourenço, M. & Luna, Y. (2023). Harnessing Fungal Power: The Development and Formulation of Agricultural Bioinputs. *Acta Scientific Microbiology* *6.11*, 30-42.

- Modeste, K. K., Eliane, M. T., Daouda, K., Brahima, S. A., Tchoa, K., Kouablan, K. E., & Mongomaké, K. (2017). Effect of antioxidants on the callus induction and the development of somatic embryogenesis of cocoa [*Theobroma cacao* (L.)]. *Australian Journal of Crop Science*, *11*(1), 25-31.
- Mares, J. H., Gramacho, K. P., Santos, E. C., da Silva Santiago, A., Santana, J. O., de Sousa, A. O., Alvim, F. C., & Pirovani, C. P. (2017). Proteomic analysis during of spore germination of *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease in cacao. *BMC Microbiology*, *17*(1), 176.
- McKenna, D. (2005). Ayahuasca: An ethnopharmacologic history. En R. Metzner (Ed.), *Sacred vine of spirits: Ayahuasca*, 40-63. Inner Traditions / Bear & Co.
- Mendes, R., Kruijt, M., de Bruijn, I., Dekkers, E., van der Voort, M., Schneider, J. H. M., Piceno, Y. M., De-Santis, T. Z., Andersen, G. L., Bakker, P. A. H. M., & Raaijmakers, J. M. (2011). Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. *Science*, *332*(6033), 1097-1100.
- Monache, F. D., Bettolo, G. B. M., & Bernays, E. A. (1984). Isolation of insect antifeedant alkaloids from *Maytenus rigida* (Celastraceae). *Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*, *97*(1-5), 406-414.
- Morales-García, J. A., de la Fuente Revenga, M., Alonso-Gil, S., Rodríguez-Franco, M. I., Feilding, A., Perez-Castillo, A., & Riba, J. (2017). The alkaloids of *Banisteriopsis caapi*, the plant source of the Amazonian hallucinogen Ayahuasca, stimulate adult neurogenesis *in vitro*. *Scientific Reports*, *7*(1), 5309.
- Morrissey, J., Stack, J. C., Valls, R., & Motamayor, J. C. (2019). Low-cost assembly of a cacao crop genome is able to resolve complex heterozygous bubbles. *Horticulture Research*, *6*(1), 1-13.
- Mouad, H. A. R. (2016). *Phytomedical studies on the Amazonian traditional medicine "Chuchuguasa" (Maytenus laevis Reissek)* [Tesis doctoral, University of Strathclyde]. DOI: 10.48730/ph3m-zh27
- Muiruri, S. K., Ntui, V. O., Tripathi, L., & Tripathi, J. N. (2021). Mechanisms and approaches towards enhanced drought tolerance in cassava (*Manihot esculenta*). *Current Plant Biology*, *28*, 100227.
- Nakagawa, H., Takaishi, Y., Fujimoto, Y., Duque, C., Garzon, C., Sato, M., Okamoto, M., Oshikawa, T., & Ahmed, S. U. (2004). Chemical constituents from the Colombian medicinal plant *Maytenus laevis*. *Journal of Natural Products*, *67*(11), 1919-1924.
- Naranjo Briceño, L. A. (27 de febrero 2019). *Domesticación de la Guayusa (Ilex guayusa) bajo un enfoque agroecológico*. Ikiam Noticias. <http://www.ikiam.edu.ec/noticias/blog/2019/02/27/domesticacion-de-la-guayusa/>
- Odipio, J., Alicai, T., Ingelbrecht, I., Nusinow, D. A., Bart, R., & Taylor, N. J. (2017). Efficient CRISPR/Cas9 Genome Editing of Phytoene desaturase in Cassava. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1780.
- Orek, C., Gruitsem, W., Ferguson, M., & Vanderschuren, H. (2020). Morpho-physiological and molecular evaluation of drought tolerance in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Field Crops Research*, *255*, 107861.
- Pancaningtyas, S. (2021). Callogenesis and embryogenic potential of new superior cocoa (*Theobroma cacao* L.) genotypes treated with ascorbic acid. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, *37*(3), 184-196.
- Quainoo, A. K. (2010). PCR-based quarantine procedure for the detection of cocoa swollen shoot virus. *Agriculture and Biology Journal of North America*. *1*(6), 1357-1364

- Ramachandran, P., Zhang, N., McLaughlin, W. B., Luo, Y., Handy, S., Duke, J. A., Vasquez, R., & Ottesen, A. (2018). Sequencing the Vine of the Soul: Full Chloroplast Genome Sequence of *Banisteriopsis caapi*. *Genome Announcements*, 6(25), e00203-18.
- Rodd, R. (2008). Reassessing the cultural and psychopharmacological significance of *Banisteriopsis caapi*: Preparation, classification and use among the Piaroa of Southern Venezuela. *Journal of Psychoactive Drugs*, 40(3), 301-307.
- Rodríguez Álvarez, M. S. (2018). *Ilex guayusa: Propiedades medicinales y energéticas en la Amazonía Ecuatoriana* [Tesis de licenciatura, Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7968>
- Rojas Kozisek, D. E. (2018). *Estandarización de Marcadores Microsatélites Específicos Para Ilex Guayusa y Su Aplicación Para Análisis de Diversidad Genética*. [Tesis de pregrado: Universidad San Francisco de Quito USFQ].
- Rojo, O., Barbosa, L., Zeppa, G., & Stévigny, C. (2020). Cocoa Bean Shell—A By-Product with Nutritional Properties and Biofunctional Potential. *Nutrients*, 12(4), Article 4.
- Rosabal, L. F., Puebla, Y. G., Pérez, S. R., Cordoví, U. M. R., Pupo, J. J. S., & Werbrouck, S. P. (2022). Effects of salicylic acid on the production of polyphenols and the reducing power of *Theobroma cacao* calli. *Current Research in Biotechnology*, 4, 47-57.
- Rossi, G. N., Guerra, L. T. L., Baker, G. B., Dursun, S. M., Saiz, J. C. B., Hallak, J. E. C., & Dos Santos, R. G. (2022). Molecular Pathways of the Therapeutic Effects of Ayahuasca, a Botanical Psychedelic and Potential Rapid-Acting Antidepressant. *Biomolecules*, 12(11), 1618.
- Salvador, A. T., Jaramillo, V., Mosquera, J., Arahana, V., & Torres, M. de L. (2017). Preliminary assessment of the degree of genetic diversity of Ecuadorean *Ilex guayusa* using inter simple sequence repeat (ISSR) markers. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 9(1), Article 1.
- Samoylenko, V., Rahman, M. M., Tekwani, B. L., Tripathi, L. M., Wang, Y.-H., Khan, S. I., Khan, I. A., Miller, L. S., Joshi, V. C., & Muhammad, I. (2010). *Banisteriopsis caapi*, a unique combination of MAO inhibitory and antioxidative constituents for the activities relevant to neurodegenerative disorders and Parkinson's disease. *Journal of Ethnopharmacology*, 127(2), 357-367.
- Sánchez, N., & Jiménez, V. M. (2010). Técnicas de conservación *in vitro* para el establecimiento de bancos de germoplasma en cultivos tropicales. *Agronomía Mesoamericana*, 21(1), 193-205.
- Santos, B. W. L., Moreira, D. C., Borges, T. K. D. S., & Caldas, E. D. (2022). Components of *Banisteriopsis caapi*, a Plant Used in the Preparation of the Psychoactive Ayahuasca, Induce Anti-Inflammatory Effects in Microglial Cells. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(8), 2500.
- Saraguro Olalla, F. J. (2021). *Efecto del ácido salicílico, como elicitador, sobre la producción de metabolitos secundarios en callo in vitro obtenido a partir de hojas de guayusa (Ilex guayusa Loes)* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bits-tream/21000/23543/1/T-ESPE-044236.pdf>
- Sasse, J., Martinoia, E., & Northen, T. (2018). Feed Your Friends: Do Plant Exudates Shape the Root Microbiome? *Trends in Plant Science*, 23(1), 25-41.

- Satam, H., Joshi, K., Mangrolia, U., Waghoo, S., Zaidi, G., Rawool, S., Thakare, R. P., Banday, S., Mishra, A. K., Das, G., & Malonia, S. K. (2023). Next-Generation Sequencing Technology: Current Trends and Advancements. *Biology*, *12*(7).
- Sessou, A. F., Kahia, J. W., Houngue, J. A., Ateka, E. M., Dadjo, C., & Ahanhanzo, C. (2020). *In vitro* propagation of three mosaic disease resistant cassava cultivars. *BMC Biotechnology*, *20*(1), 51.
- Shi, Z., Zhang, Y., Maximova, S. N., & Gultinan, M. J. (2013). *TcNPR3* from *Theobroma cacao* functions as a repressor of the pathogen defense response. *BMC Plant Biology*, *13*, 1-12.
- Sidstedt, M., Rådström, P., & Hedman, J. (2020). PCR inhibition in qPCR, dPCR and MPS-mechanisms and solutions. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *412*(9), 2009-2023.
- Simão, A. Y., Gonçalves, J., Gradillas, A., García, A., Restolho, J., Fernández, N., Rodilla, J. M., Barroso, M., Duarte, A. P., Cristóvão, A. C., & Gallardo, E. (2020). Evaluation of the Cytotoxicity of Ayahuasca Beverages. *Molecules*, *25*(23), 5594.
- Sousa, H. R., de Jesus, R. M., Bezerra, M. A., Santana, G. M., & de Santana, R. O. (2021). History, dissemination, and field control strategies of cocoa witches' broom. *Plant Pathology*, *70*(9), 1971-1978.
- Suárez, I. E. (2020). *Cultivo de tejidos vegetales*. Fondo Editorial de la Universidad de Córdoba.
- Sun, W., Xu, Z., Song, C., & Chen, S. (2022). Heritgenomics: Decipher molecular genetics of medicinal plants. *The Innovation*, *3*(6), 100322.
- Tapi, A., Tahi, M. G., Adiko, A., Mahamadou, S., & Mboup, C. M. (2020). Field performance of cocoa somaclones derived from somatic. *J. Plant Sci. Agri. Res*, *42*, 34.
- Tarafdar, J. C. (2022). Biostimulants for sustainable crop production. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 299-313). Elsevier.
- United Nations. (2019). *World Population Prospects 2019 Highlights*. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf
- Vélez, L. S., Carreño, L. V., Quiñónez, L. C., Mora, F. D. S., Macías, C. S., & Monserrate, G. P. (2022). Recursos genéticos de cacao tipo Nacional en Ecuador: una revisión sistemática. *Revista Ciencia y Tecnología*, *15*(2), 31-44.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, *255*(2), 571-586.
- Villegas, P. (2008). Propagación *in vitro* de ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*). *Investigación Universitaria*, *57*.
- Wages, J. M. (2005). Polymerase Chain Reaction. *Encyclopedia of Analytical Science*, 243.

- Wan, L., Wang, Z., Tang, M., Hong, D., Sun, Y., Ren, J., Zhang, N., & Zeng, H. (2021). CRISPR-Cas9 Gene Editing for Fruit and Vegetable Crops: Strategies and Prospects. *Horticulturae*, 7(7).
- Wickramasuriya, A. M., & Dunwell, J. M. (2018). Cacao biotechnology: Current status and future prospects. *Plant Biotechnology Journal*, 16(1), 4-17.
- Xia, J., Wang, Y., Zhang, T., Pan, C., Ji, Y., Zhou, Y., & Jiang, X. (2023). Genome-wide identification, expression profiling, and functional analysis of ammonium transporter 2 (*AMT2*) gene family in cassava (*Manihot esculenta* crantz). *Frontiers in Genetics*, 14, 1145735.
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., ... & Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, 2(12), 1879-1888.
- Zhang, Y., Maximova, S. N., & Gultinan, M. J. (2015). Characterization of a stearyl-acyl carrier protein desaturase gene family from chocolate tree, *Theobroma cacao* L. *Frontiers in Plant Science*, 6, 239.
- Zheng, L., Hamidou, A. A., Zhao, X., Ouyang, Z., Lin, H., Li, J., Zhang, X., Luo, K., & Chen, Y. (2023). Superoxide dismutase gene family in cassava revealed their involvement in environmental stress via genome-wide analysis. *iScience*, 26(10).
- Zhou, Q., Li, R., Fernie, A. R., Che, Y., Ding, Z., Yao, Y., Liu, J., Wang, Y., Hu, X., & Guo, J. (2023). Integrated Analysis of Morphological, Physiological, Anatomical and Molecular Responses of Cassava Seedlings to Different Light Qualities. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18).
- Ziosi, V., Giovannetti, G., Vitali, F., Di Nardo, A., & Porro, D. (2013). A Botanical Extract-Based Biostimulant, Enhances Polyphenols Accumulation and Improves Quality of Musts. *Acta Horticulturae*, 1009, 67-70.
- Zúñiga, N. 2021. *Propagación in vitro de Ilex Guayusa y Los Efectos de Diferentes de Luces LED En Su Desarrollo*. [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. <http://bit.ly/COPETheses>.

Conservación de la biodiversidad y los recursos genéticos

Nathaly Maldonado-Taipe

4.1. Conservación de la biodiversidad

Conservar la biodiversidad es esencial para la supervivencia de la vida en la Tierra y el bienestar de los ecosistemas. El desarrollo biotecnológico tiene el potencial de contribuir a la preservación de la biodiversidad o, por el contrario, de ponerla en riesgo, dependiendo de los métodos y aplicaciones empleados. Por esta razón, cuando se discuten las aplicaciones biotecnológicas en plantas amazónicas, es fundamental abordar temas como la conservación de la biodiversidad, los recursos genéticos, el acceso y la distribución de beneficios, la bioprospección y la biopiratería, el marco político legal y las tecnologías destinadas a la conservación de la biodiversidad. En este capítulo, se explorarán estos temas con el objetivo de destacar los posibles efectos positivos de la biotecnología en ecosistemas diversos como el de la Amazonía Ecuatoriana. El propósito es que el lector comprenda los beneficios de la innovación biotecnológica y los medios para garantizar su aplicación responsable y ética. La implementación de marcos regulatorios estrictos, la sensibilización pública y la cooperación internacional son esenciales para mitigar posibles impactos negativos y fomentar una relación sostenible entre el desarrollo biotecnológico y la conservación de la biodiversidad.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la biodiversidad como la amplia variedad de formas de vida en la Tierra, abarcando desde los genes hasta los ecosistemas, e incluyendo los procesos evolutivos, ecológicos y culturales que sustentan la vida. Aunque el término “biodiversidad” fue formalizado en el siglo XX con el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), su comprensión y discusión tienen raíces históricas profundas. Un ejemplo temprano se encuentra en el trabajo del biólogo estadounidense E. O. Wilson. En su libro *Biofilia* de 1986, Wilson exploró la importancia de la diversidad de la vida y la conexión humana con ella. Aunque no utilizó específicamente el término “biodiversidad” en ese contexto, su obra sentó las bases para el desarrollo posterior del concepto (Wilson, 1986).

Mantener la biodiversidad es esencial para la continuación de la vida en la Tierra y la salud de los ecosistemas. La biodiversidad proporciona una amplia gama de servicios ecosistémicos fundamentales para la supervivencia humana, tales como aire y agua limpios, polinización de cultivos y regulación del clima. Además de su valor funcional, la biodiver-

sidad posee un valor intrínseco, reflejando la belleza y la complejidad de las formas de vida. Asimismo, numerosos productos farmacéuticos, cultivos agrícolas y productos industriales se derivan de recursos biológicos, lo que subraya la importancia económica de mantener ecosistemas diversos (Sala et al., 2000; United Nations Environment Programme, 1992).

La pérdida de biodiversidad, a menudo atribuida a actividades humanas como la destrucción de hábitats, la contaminación y el cambio climático, tiene consecuencias de gran alcance que afectan no sólo al mundo natural, sino también a las sociedades humanas. Las numerosas amenazas a la biodiversidad se han intensificado en las últimas décadas y el avance paralelo en biotecnología tiene el potencial de contribuir o, por el contrario, agravar los esfuerzos de conservación de la biodiversidad, dependiendo de los métodos y aplicaciones específicos utilizados.

En el ecosistema amazónico, se han detectado claramente las principales amenazas a la biodiversidad:

- Pérdida y fragmentación del hábitat: destrucción y alteración de hábitats naturales debido a actividades como la agricultura, la urbanización, la tala y el desarrollo de infraestructura (Sala et al., 2000).
- Cambio climático: alteración de los patrones de temperatura y precipitación, aumento del nivel del mar y eventos climáticos extremos que afectan los ecosistemas y la distribución de especies (Pachauri et al., 2014).
- Sobreexplotación de especies: caza, pesca y recolección insostenible de especies con fines comerciales, recreativos o tradicionales (Ceballos et al., 2015).

- Contaminación: contaminación del aire, agua y suelo por contaminantes de fuentes industriales, agrícolas y urbanas, que impactan los ecosistemas y la salud de las especies (Sala et al., 2000).
- Especies invasivas: introducción de especies no nativas que compiten o depredan a las especies nativas, alterando el equilibrio ecológico (Simberloff et al., 2013).
- Enfermedad: enfermedades emergentes, a menudo facilitadas por el comercio global y el cambio climático, que afectan a las poblaciones de vida silvestre.
- Comercio y transporte globales: movimiento de especies a través del comercio y el transporte, lo que conduce a la propagación de especies y enfermedades invasoras (Hulme et al., 2008).

Para enfrentar estas amenazas, se han implementado diversas estrategias de conservación (Tabla 5). Específicamente en la Amazonía Ecuatoriana, ONG locales, organizaciones internacionales y agencias gubernamentales colaboran para implementar dichas estrategias. El gobierno ecuatoriano, los grupos indígenas y las organizaciones ambientalistas continúan trabajando para lograr un equilibrio entre la conservación y el desarrollo sostenible en la región amazónica. La investigación continua y los enfoques de gestión adaptativa son cruciales para el éxito de las iniciativas de conservación en la selva amazónica.

Tabla 5. Estrategias de conservación en la Amazonía Ecuatoriana.

Estrategia	Implementación en la Amazonía Ecuatoriana
<p>Áreas y Reservas Protegidas</p>	<p>Ecuador ha establecido varias áreas protegidas y reservas en la región amazónica con el objetivo de preservar su biodiversidad y ecosistemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parque Nacional Yasuní: se extiende por las provincias de Orellana y Pastaza, conocido por su excepcional biodiversidad, que incluye varias especies de plantas y animales endémicos. • Reserva de Producción Faunística Cuyabeno: ubicada en la provincia de Sucumbíos, es conocida por sus lagunas y su diversidad de fauna. • Reserva de Producción Faunística Chimborazo: abarca parte de la región amazónica y está ubicada en las provincias de Napo y Pastaza.
<p>Gestión Sostenible de Recursos y Conservación basada en la comunidad</p>	<p>Manejo Forestal Sostenible</p> <p>Programas implementados en la Amazonía Ecuatoriana para conservar la salud de los bosques, aprovechando de manera sostenible los recursos maderables, mediante prácticas como la tala selectiva, la reforestación y métodos que evitan la deforestación descontrolada. Ejemplos destacados incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El Programa Socio Bosque: iniciativa del Gobierno del Ecuador en la que los propietarios de tierras en áreas estratégicas reciben incentivos económicos a cambio de comprometerse a conservar y gestionar de manera sostenible sus bosques. • Certificación Forestal FSC: otorgada por la organización internacional Forest Stewardship Council (FSC). La certificación FSC implica cumplir con estándares ambientales, sociales y económicos, asegurando una actividad forestal responsable. <p>Turismo Comunitario</p> <p>Las comunidades locales en la región amazónica generan ingresos a través de actividades turísticas sostenibles. Además de promover la conservación de la biodiversidad, estas actividades ofrecen a los visitantes la oportunidad de experimentar y aprender sobre la selva amazónica de manera respetuosa con el entorno y las culturas locales.</p>

Agricultura Sostenible

- Sistema de Chacras Sostenibles: sistemas que promueven la rotación de cultivos, la diversificación de especies y el uso de métodos agrícolas tradicionales.
- Proyectos de agroforestería en la cuenca del río Napo: combinan el cultivo de alimentos con la plantación de árboles nativos, buscando conservar la biodiversidad, mejorar la resiliencia de los suelos y reducir la presión sobre los bosques primarios.

Programas de Conservación de Especies Emblemáticas

Incluyen monitoreo de poblaciones, investigación sobre su ecología y la promoción de prácticas de manejo sostenible que beneficien a estas especies y a su hábitat:

Gestión Sostenible de Recursos y Conservación basada en la comunidad

- Proyecto para la conservación del jaguar en la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno.
- Conservación de la danta en Reserva de Biósfera Yasuní.
- Proyecto de conservación del mono aullador negro en el Parque Nacional Yasuní.

Investigación Científica Participativa

La colaboración entre científicos y comunidades locales que permite una comprensión más profunda de los ecosistemas amazónicos. Estos proyectos incluyen monitoreo de la biodiversidad, estudios sobre prácticas de caza sostenible y evaluación de la salud de los ecosistemas.

- Proyecto Kichwa Hatari: donde científicos colaboran estrechamente con la comunidad indígena Kichwa.
- El Observatorio de Cambio Climático de la Amazonía Ecuatoriana (OC-CAE): recopila datos sobre fenómenos climáticos, impactos locales y estrategias de adaptación.
- Monitoreo de la biodiversidad en la Reserva de Biósfera Yasuní.

Estrategia

Implementación en la Amazonía Ecuatoriana

Creación de corredores:

Se realizan esfuerzos para establecer corredores de vida silvestre para conectar hábitats fragmentados en la Amazonía Ecuatoriana. Algunos de los corredores destacados son:

- Corredor de Conservación Cuyabeno-Imbabura: conecta la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno con las áreas de conservación en la región de Imbabura.
- Corredor de Biodiversidad Chocó-Andino: abarca la región noroccidental de la Amazonía Ecuatoriana y se extiende hacia la cordillera de los Andes, conectando áreas protegidas en la Amazonía con las montañas.
- Corredor Biológico Llanganates-Sangay: ubicado en la región centro-sur de la Amazonía Ecuatoriana y conecta el Parque Nacional Sangay con la Reserva Ecológica Llanganates.

Educación y concienciación sobre la conservación

Estrategias que incluyen programas educativos en escuelas, centros de interpretación ambiental y campañas de sensibilización comunitaria. Estas iniciativas buscan no solo informar a las personas sobre la importancia de la conservación en la Amazonía Ecuatoriana, sino también fomentar un sentido de responsabilidad y participación activa en la protección de estos valiosos ecosistemas.

Legislación y política

Las políticas nacionales y los marcos legales en Ecuador abordan cuestiones ambientales y apuntan a regular actividades que pueden impactar negativamente en la Amazonía, como la deforestación y la tala ilegal (véase *sección 4.4. Marcos políticos y legales*).

Fuente: Krause & Zambonino, (2013); Rodas et al. (2015); Yáñez (2016).

4.2. Recursos genéticos

Los recursos genéticos, que abarcan los materiales hereditarios presentes en los organismos, son componentes fundamentales de la biodiversidad y desempeñan un papel clave en la adaptación, evolución y resiliencia de las especies. La diversidad genética, manifestada en genes, cromosomas y secuencias de ADN, es crucial para la capacidad de las especies de responder a los cambios y desafíos ambientales. Más allá del material genético en sí, los recursos genéticos incluyen también los conocimientos, innovaciones y prácticas asociados, particularmente aquellos desarrollados y mantenidos por comunidades tradicionales e indígenas (United Nations Environment Programme, 1992).

Los recursos genéticos se pueden clasificar en cinco grandes grupos según su origen:

- Recursos fitogenéticos: incluyen especies de plantas, abarcando cultivos tradicionales, parientes silvestres y variedades con rasgos únicos.
- Recursos zoogenéticos: comprenden el material genético diverso encontrado en especies ganaderas.
- Recursos genéticos microbianos: involucran bacterias, hongos, virus y otros microorganismos.
- Recursos genéticos acuáticos: refieren a la diversidad genética dentro de las especies acuáticas, incluidos peces y otros organismos acuáticos.

4.2.1. Importancia de los recursos genéticos en agricultura, medicina e industria

Los recursos genéticos son esenciales para la vida en la Tierra, sustentando la agricultura, la medicina, la investigación científica y la biodiversidad (Tabla 6). Su uso sostenible es crucial para abordar los desafíos actuales y futuros relacionados con la seguridad alimentaria, la salud humana, la conservación ambiental y la adaptación a los cambios globales.

Tabla 6. Importancia de los recursos genéticos según el área de aplicación

Área	Importancia de los recursos genéticos
Agricultura	<p>Mejoramiento de cultivos. Los parientes silvestres y las variedades locales contienen rasgos valiosos que pueden incorporarse a las variedades cultivadas, facilitando el desarrollo de cultivos con mayor rendimiento, resistencia a enfermedades y adaptabilidad (Brauer et al., 2023).</p> <p>Biodiversidad para la resiliencia. Un acervo genético diverso permite cultivar múltiples variedades, garantizando que si una es susceptible a un factor estresante particular, otras puedan poseer resistencia (Campi et al., 2021).</p> <p>Adaptación al cambio climático. Al identificar y utilizar recursos genéticos con rasgos relacionados con la tolerancia al calor, la resistencia a la sequía y otras características, la agricultura puede adaptarse mejor al cambio climático (Mondal et al., 2023).</p> <p>Resistencia a enfermedades y plagas. Los recursos genéticos proporcionan una fuente de resistencia natural a enfermedades y plagas, permitiendo reducir la dependencia de insumos químicos y minimizar el impacto de enfermedades y plagas en el rendimiento de los cultivos (Thomson et al., 2010).</p> <p>Prácticas de agricultura sostenible. Variedades que utilizan eficientemente los recursos y requieren menos agua o nutrientes contribuyen a una agricultura más respetuosa con el medio ambiente (Bohra et al., 2020).</p> <p>Preservación de la agricultura tradicional. La diversidad genética asegura la disponibilidad de cultivos adaptados a regiones específicas y promueve el uso continuo de los conocimientos agrícolas tradicionales (Altieri et al., 2012).</p>
Medicina	<p>Bases genéticas de las enfermedades. Los recursos genéticos, incluidos datos y bases de datos genómicos, contribuyen a comprender las bases genéticas de diversas enfermedades. Esta comprensión permite adaptar medicamentos, dosis y planes de tratamiento, optimizando los resultados terapéuticos y minimizando efectos adversos (Freebern et al., 2020).</p>

Medicina

Biomarcadores genéticos para diagnóstico. Los marcadores genéticos asociados a enfermedades o afecciones específicas permiten la detección temprana, la evaluación de riesgos y el seguimiento de la progresión de la enfermedad (Kosch et al., 2022).

Genética de poblaciones y epidemiología de enfermedades. Los estudios de genética de poblaciones ayudan a comprender la epidemiología de las enfermedades y la distribución de variantes genéticas entre las poblaciones. Esta información es crucial para controlar enfermedades zoonóticas o introducidas que afectan a especies cuyo hábitat puede estar en riesgo (Dussex et al., 2021).

Industria

Biofarmacéuticos y medicamentos. Microorganismos como bacterias y hongos se utilizan como huéspedes para producir proteínas terapéuticas, mientras que las plantas pueden ser una fuente de compuestos bioactivos con propiedades medicinales (Campos Torres, 2023).

Enzimas industriales. Los recursos genéticos microbianos se emplean para aislar y diseñar enzimas utilizadas en diversas aplicaciones industriales, como la producción de alimentos, la fabricación de biocombustibles y el procesamiento textil.

Sabores y fragancias. La fermentación microbiana y la extracción de plantas proporcionan fuentes naturales para la producción de una amplia gama de sabores y fragancias.

Materiales y productos químicos de origen biológico. Los microorganismos pueden ser diseñados para producir biocombustibles, bioplásticos y otros productos de base biológica, ofreciendo alternativas sostenibles a los materiales petroquímicos tradicionales (Ko et al., 2020).

4.2.2. Conocimiento ancestral indígena y los recursos genéticos

El conocimiento ancestral (CA) hace referencia a los sistemas de saberes tradicionales desarrollados por las comunidades indígenas a lo largo de generaciones. Estos sistemas incluyen una comprensión profunda de los ecosistemas, la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos. La relación entre el CA y los recursos genéticos (RG) es compleja y multifacética (Figura 27), presentando los siguientes aspectos clave (Mora et al., 2020):

- Gestión de la biodiversidad. Las comunidades indígenas poseen un vasto conocimiento sobre la biodiversidad en sus territorios, incluyendo información sobre el uso de diferentes especies de plantas y animales, sus funciones ecológicas y prácticas de recolección sostenible.
- Agricultura tradicional y fitomejoramiento. Los agricultores indígenas han desarrollado variedades de cultivos localmente adaptadas mediante la selección natural, preservando así la diversidad genética de los cultivos y contribuyendo a la resiliencia de los sistemas agrícolas.
- Plantas medicinales y medicina tradicional. Muchas culturas indígenas dependen de una amplia gama de especies de plantas para la medicina tradicional, incorporando conocimientos sobre sus propiedades terapéuticas y su uso en la salud comunitaria.
- Conservación de variedades silvestres. Las comunidades indígenas actúan como guardianas de paisajes y hábitats naturales, contribuyendo a la conservación de los recursos genéticos silvestres.
- Prácticas culturales y recursos genéticos. El uso de semillas tradicionales, la domesticación de animales y la incorporación de recursos genéticos a las prácticas culturales en las comunidades indígenas reflejan una profunda comprensión de la interconexión entre la cultura y la biodiversidad.
- Gobernanza comunitaria y acceso a recursos genéticos. Las comunidades indígenas han establecido sistemas de gobernanza que regulan el acceso a los recursos genéticos dentro de sus territorios. Estos sistemas incluyen leyes consuetudinarias, protocolos y procesos de toma de decisiones que priorizan el uso sostenible de los recursos genéticos y protegen contra la biopiratería (véase sección 4.3. *Bioprospección y Biopiratería*).



Figura 27. La relación entre el conocimiento ancestral y los recursos genéticos se representa como un conjunto de engranajes con múltiples piezas (centros de interacción) y destaca la interconexión dinámica y de naturaleza interdependiente.

La relación entre CA y RG subraya la importancia de reconocer y respetar el saber tradicional de las comunidades indígenas. Este reconocimiento es fundamental para promover asociaciones equitativas, asegurar una toma de decisiones informada sobre el uso de recursos genéticos y fomentar prácticas de conservación que se alineen con los valores indígenas y los objetivos de sostenibilidad.

A pesar de las invaluable contribuciones del CA a la conservación de la biodiversidad, existen desafíos significativos como la erosión del conocimiento indígena debido a la alteración cultural y las influencias externas. El respeto y la protección de los derechos y conocimientos indígenas son fundamentales para implementar estrategias efectivas de conservación de la biodiversidad (Fletcher et al., 2021). Es importante recalcar que dichas estrategias no deben excluir el progreso tecnológico; por el contrario, deben integrarlo de manera sostenible, de modo que contribuya tanto al bienestar del medio ambiente como al de las comunidades involucradas.

4.3. Bioprospección y Biopiratería

La bioprospección es la investigación, recolección y análisis de la variedad biológica, especialmente de recursos vegetales y microbianos, con el propósito de descubrir nuevos compuestos, genes u otros productos naturales valiosos para su uso comercial o científico. El objetivo principal es identificar sustancias con posibles aplicaciones en medicina, agricultura o industria (Laird & Wynberg, 2008). Los científicos e investigadores participan en bioprospección en regiones como la selva amazónica para descubrir nuevas plantas medicinales o compuestos con potencial farmacéutico.

Por otro lado, la biopiratería se refiere a la explotación comercial no ética o no autorizada de recursos biológicos, conocimientos tradicionales o material genético de comunidades indígenas o locales, sin acuerdos justos de distribución de beneficios. Esta práctica implica el uso indebido de conociemien-

tos tradicionales o recursos genéticos para obtener ganancias comerciales, sin el consentimiento informado de las comunidades propietarias. Un ejemplo destacado de biopiratería en el Amazonas es el patentamiento de productos relacionados con la ayahuasca. En algunos casos, entidades extranjeras han registrado patentes sobre componentes de la ayahuasca sin reconocer ni compensar a las comunidades indígenas que han salvaguardado y utilizado este conocimiento tradicional durante generaciones (Ardhede, 2006).

4.3.1. Consideraciones éticas y legales

Las cuestiones éticas y legales relacionadas con la biopiratería y la bioprospección son complejas y, a menudo, implican consideraciones de justicia, equidad y respeto por los derechos de las comunidades indígenas y locales. A continuación, profundizamos en los aspectos éticos y legales clave de ambas prácticas (Figura 28).

4.3.2. Balance de interés comercial y conservación

Abordar las dimensiones éticas y legales de la bioprospección y prevenir la biopiratería requiere un cuidadoso equilibrio entre los intereses científicos y comerciales y la protección de los derechos y el bienestar de las comunidades indígenas y locales. Lograr este equilibrio es crucial para la sostenibilidad de los ecosistemas, la biodiversidad y la salud general del planeta, al tiempo que se satisfacen las necesidades humanas y se promueve el crecimiento económico.

Un principio clave para alcanzar este equilibrio es el desarrollo sostenible. Para ello, es necesario definir objetivos claros que articulen metas tanto para la conservación como para el desarrollo económico, con el fin de evitar conflictos y encontrar puntos en común. Estos objetivos deben priorizar estrategias que promuevan la sostenibilidad a largo plazo sobre las ganancias a corto plazo.

El equilibrio entre el interés comercial y la conservación también requiere de una planificación integrada. Esta planificación debe implementar enfoques basados en ecosistemas para la gestión de recursos que consideren la interconexión de especies y hábitats.

Además, debe utilizar la planificación espacial para designar áreas para la conservación, el uso sostenible de recursos y el desarrollo, de manera que se minimicen los conflictos (Kirkby et al., 2023).

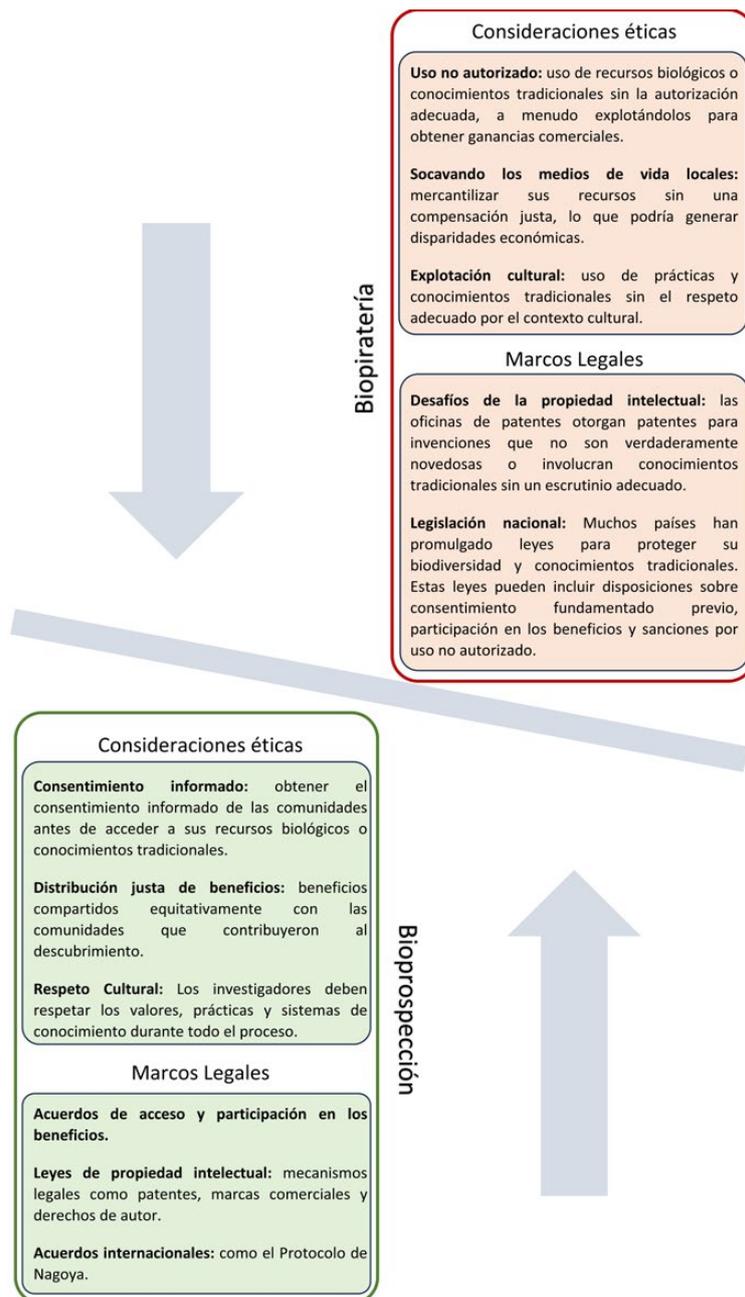


Figura 28. Consideraciones éticas y marco legal de la biopiratería y bioprospección.

La regulación, la participación pública y la educación son aspectos esenciales para armonizar los intereses comerciales con la conservación. Para lograr este equilibrio, se deben abordar varios puntos clave: desarrollar y hacer cumplir políticas que regulen la extracción de recursos, el uso de la tierra y las emisiones, garantizando que estas se alineen con los objetivos de conservación; proporcionar incentivos económicos para que las empresas adopten prácticas sostenibles, como exenciones fiscales o subsidios para iniciativas respetuosas con el medio ambiente; educar al público, a las empresas y a los formuladores de políticas sobre la importancia de la conservación y los beneficios a largo plazo de las prácticas sostenibles; e involucrar a las comunidades locales y a los pueblos indígenas en los procesos de toma de decisiones (Mendoza Montesdeoca et. al, 2022)

Además, la coordinación entre los objetivos comerciales y la preservación exige responsabilidad corporativa. Se debe alentar a las empresas a adherirse a estándares y certificaciones ambientales que promuevan prácticas responsables; y apoyar y recompensar a las que demuestren un compromiso genuino con la conservación del medio ambiente.

La conservación no implica detener la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías; en cambio, enfatiza la necesidad de buscar la innovación y el progreso de manera responsable y sostenible.

Lograr un equilibrio implica avanzar en el conocimiento científico y las capacidades tecnológicas, mientras se considera cuidadosamente su impacto ambiental y se asegura que estos avances se alineen con los objetivos de conservación.

4.4. Marcos políticos y legales

Existen leyes y marcos legales internacionales dedicados a la conservación y uso sostenible de la biodiversidad (Figura 29). En Ecuador, también hay una serie de normativas y regulaciones jurídicas nacionales que respaldan estos esfuerzos.

Los marcos regulatorios en Ecuador, que incluyen el reconocimiento de los derechos de la naturaleza en la Constitución de 2008, representan un avance significativo, aunque aún insuficiente para alcanzar sus objetivos. La regulación jurídica en Ecuador sigue siendo dispersa, vaga y ambigua, y el desarrollo jurisprudencial en este campo ha sido limitado hasta el momento (Cutié & Vernaza, 2022). A pesar de que han pasado más de dos décadas desde la inclusión de los derechos de la naturaleza en la Constitución, sólo se han presentado algunos casos de infracciones ante los tribunales, lo que dificulta la formación de criterios jurisprudenciales sólidos.

Varios casos demuestran la ineficacia de la normativa actual para prevenir el acceso y uso ilegal de los recursos genéticos ecuatorianos. Empresas extranjeras han patentado material genético del país para desarrollar nuevas invenciones sin obtener la autorización correspondiente del Estado (Tabla 7). Este fenómeno ha afectado a especies endémicas como el algodón de Darwin, originario de las islas Galápagos y utilizado por las aves para la construcción de nidos, así como a otras especies como la Isquarilla, el Tomatillo, algas de las Galápagos y la calabaza ecuatoriana (Figuera Vargas & Robles Arias, 2020).

En la práctica, la regulación de los casos mencionados en la Tabla 7 habría requerido la celebración de un acuerdo marco a través del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Este acuerdo macro representa una herramienta regulatoria del Estado ecuatoriano y establecería un marco general de cooperación y compromiso entre ambas partes. Sin embargo, hasta el año 2021, Ecuador solo había firmado cinco contratos marco para acceder a recursos genéticos. Como resultado, se observa un desequilibrio, ya que las publicaciones que informan sobre estudios que implican o se llevan a cabo con material genético, específicamente en la Amazonía Ecuatoriana, alcanzan un total de 558 desde 2020 hasta marzo de 2024 (búsqueda Google Scholar con las palabras clave “study”, “amazon”, “ecuador”, “species”).

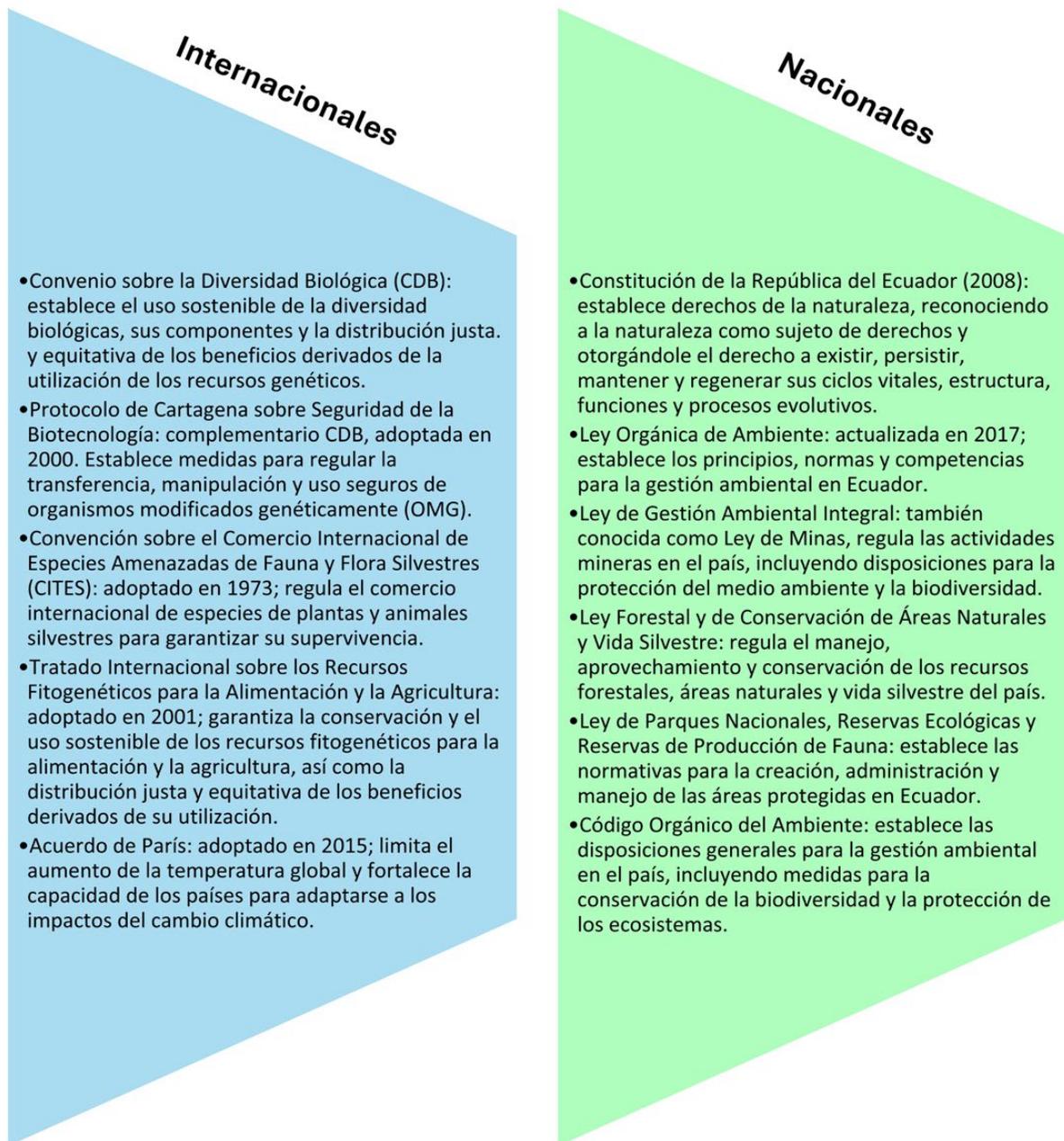


Figura 29. Regulaciones nacionales e internacionales para conservación y uso sostenible de la biodiversidad.

Tabla 7. Países y patentes sin autorización de acceso al material genético ecuatoriano.

Países que lideran las cifras de acceso no autorizado	Número de patentes concedidas sin la autorización del Estado ecuatoriano
Estados Unidos	35
Alemania	33
Países Bajos	17
Australia	15

Elaborado por: Johana Robles & Sorily Figuera.

Fuente: Figuera Vargas & Robles Arias (2020).

4.3. Tecnologías de conservación

Varias herramientas biotecnológicas desempeñan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad al permitir la preservación de especies y la gestión de la diversidad genética (Tabla 8).

Tabla 8. Biotecnologías de conservación.

Herramienta/método	Papel en la conservación de la biodiversidad
Cultivo <i>in vitro</i> (véase sección 3.1.1. Cultivo <i>in vitro</i>)	<p>A través de técnicas de cultivo <i>in vitro</i>, se pueden crear bancos de germoplasma que almacenan muestras de tejidos, células, esporas, etc., de una amplia gama de especies. Estas muestras se utilizan para regenerar individuos completos o para estudios genéticos.</p> <p>Esta técnica se utiliza para diseminar plantas a partir de pequeños fragmentos de tejido, permitiendo la rápida propagación de individuos seleccionados y la conservación de especies raras o amenazadas.</p>
Criopreservación	<p>Esta técnica permite conservar semillas a temperaturas extremadamente bajas, generalmente en nitrógeno líquido, manteniendo su viabilidad por largos períodos. Esto es crucial para preservar la diversidad genética de las plantas, especialmente de especies en peligro de extinción.</p> <p>Similarmente, se pueden criopreservar embriones de plantas o animales.</p>

Códigos de barras de ADN (DNA barcoding) y marcadores moleculares

La biotecnología molecular ha desarrollado técnicas como el uso de secuencias de ADN específicas, como marcadores moleculares (*DNA barcoding*), para identificar especies y subespecies. Estos métodos son esenciales para monitorear la biodiversidad; al analizar muestras ambientales de suelo, agua o aire, los científicos pueden identificar las especies presentes en un ecosistema sin necesidad de observación directa. Esta información es crucial para monitorear los cambios en la biodiversidad y evaluar la efectividad de los esfuerzos de conservación.

Los códigos de barras de ADN permiten una identificación rápida y precisa de especies, incluso en diferentes etapas de vida o fragmentadas. Además, son útiles para identificar especies en productos confiscados de vida silvestre, como marfil, pieles o medicinas tradicionales. También ayudan a evaluar la diversidad de especies dentro de un ecosistema o región en particular.

Al comparar secuencias de códigos de barras de ADN de diferentes especímenes, los investigadores pueden determinar la cantidad de especies y sus relaciones genéticas. Esta información es esencial para priorizar los esfuerzos de conservación e identificar áreas de alto valor de conservación. Además, pueden ayudar en la detección temprana de especies invasoras identificándolas en función de sus firmas de ADN.

El uso de marcadores moleculares, combinando con selección de especies, permite realizar crianza selectiva para mejorar poblaciones silvestres, aumentar su resistencia y adaptación a cambios ambientales y minimizar la endogamia (véase sección 3.1.3.1. *Reacción en Cadena de la Polimerasa*).

Secuenciación e ingeniería genética

La secuenciación del ADN ha revolucionado nuestra capacidad para estudiar y conservar la biodiversidad. Facilita la identificación de especies, la comprensión de sus relaciones evolutivas y el monitoreo de la diversidad genética dentro de las poblaciones. La secuenciación del genoma completo amplía el alcance de las aplicaciones de *DNA barcoding* y de los marcadores moleculares, ofreciendo la “huella completa de ADN” de un organismo.

El conocimiento del genoma completo o de la genética funcional de un organismo (véase sección 3.1.3.3. *Secuenciación*) permite implementar herramientas de edición genética que pueden ser utilizadas para modificar genéticamente especies en peligro de extinción, haciéndolas más resistentes a enfermedades, adaptadas al cambio climático o eliminando genes que causan vulnerabilidad.

**Herramienta/
método****Papel en la conservación de la biodiversidad**

**Bioacumulación y
biorremediación**

Estas técnicas utilizan organismos vivos para eliminar contaminantes del medio ambiente. Microorganismos, plantas o incluso animales pueden emplearse para limpiar suelos, aguas contaminadas y sedimentos, contribuyendo a la conservación de los hábitats naturales y la biodiversidad.

**Control de plagas
y polinizadores**

La introducción selectiva de depredadores, parásitos o patógenos específicos para controlar poblaciones de especies invasoras o plagas puede proteger la diversidad biológica de los ecosistemas nativos.

Dada la importancia de los polinizadores para la reproducción de plantas (abejas, mariposas y otros polinizadores claves), se estudia su genoma clave para obtener información sobre su diversidad genética y adaptabilidad; identificar poblaciones en riesgo, y diseñar estrategias de conservación efectivas. Además, se aplica la crianza selectiva mediante el uso de marcadores moleculares en abejas.

Bioinsumos

(véase sección
3.1.4. *Bioinsumos*)

Los bioinsumos, obtenidos de fuentes naturales como plantas, microorganismos y animales, son utilizados en la agricultura y ganadería como alternativas a los insumos convencionales, como fertilizantes químicos y pesticidas sintéticos. Ejemplos comunes incluyen fertilizantes orgánicos, biopesticidas, biofertilizantes, microorganismos eficientes, compost, entre otros.

El uso de bioinsumos reduce el impacto ambiental en comparación con los insumos químicos convencionales, generando menos contaminación del suelo, agua y aire, y disminuyendo la acumulación de residuos tóxicos en el medio ambiente. Además, fertilizantes orgánicos y biofertilizantes mejoran la estructura y la fertilidad del suelo, incrementan la materia orgánica, promueven la actividad microbiana beneficiosa y ayudan a retener la humedad, lo que conduce a suelos más saludables y productivos a largo plazo.

Desafortunadamente, a nivel nacional, muchas de las tecnologías mencionadas en la Tabla 8 están subutilizadas o incluso no se emplean en absoluto. Un ejemplo claro es el uso de marcadores moleculares que, aunque han sido ampliamente utilizados en el país para fines de conservación, están quedando obsoletos debido a los avances en secuenciación y genómica.

La obsolescencia de las herramientas de biología molecular empleadas en la región se evidencia en un estudio sobre *Theobroma cacao*, donde se analizó la variabilidad genética de 19 accesiones provenientes de la Amazonía brasileña, ecuatoriana y peruana. Este análisis, realizado mediante la técnica de RAPD (ADN polimórfico amplificado al azar) y marcadores microsatélites, no mostró una regionalización clara de la variabilidad genética¹ (Faleiro et al., 2004). En este contexto, el uso de herramientas moleculares de análisis genético a nivel de todo el genoma, como el SNP (Polimorfismo de Nucleótido Único) o InDel (Inserción y Delección) (véase sección 3.1.3.1. *Reacción en Cadena de la Polimerasa*), junto con un genoma de referencia de alta calidad, podría proporcionar información más precisa sobre el origen y la distribución de la variabilidad genética en el cacao.

Por otro lado, un estudio realizado sobre *Ilex guayusa* examinó la diversidad genética y clonal de esta especie en tres regiones diferentes de la Amazonía Ecuatoriana, utilizando 17 marcadores SSR específicos de la especie. Los resultados indicaron un grado moderadamente bajo de diversidad genética y revelaron la existencia de dos grupos genéticos, donde la estacionalidad de la temperatura y la isothermalidad podrían explicar la diferenciación genética entre ellos (Erazo García et al., 2021) (véase sección 3.2.2.2. *para contextualización del estudio dentro de las herramientas de la biotecnología*). En este caso, el uso de SSR en lugar de marcadores moleculares más detallados, como aquellos derivados de las ciencias ómicas (véase sección 3.1.2. *Genética funcional*) podría haber llevado a una interpretación limitada dentro en este cultivo clonal².

Asimismo, *Phaedranassa viridiflora*, una planta endémica y en peligro de extinción que se encuentra principalmente en los Andes del norte de Ecuador, fue objeto de un estudio que empleó 13 loci microsatélites para investigar la estructura genética de sus poblaciones. Los resultados revelaron un fenómeno inusual de hibridación natural entre *Phaedranassa viridiflora* y *Phaedranassa dubia*, específicamente en el cráter Pululahua, en el norte de Ecuador (Oleas et al., 2013). Aunque este estudio proporciona una base valiosa para investigaciones futuras, la información genética obtenida se enriquecería significativamente con el uso de la secuenciación del genoma completo. Este enfoque permitiría realizar análisis poblacionales y de hibridación con mayor precisión y detalle.

Los ejemplos presentados subrayan la subutilización de biotecnologías modernas destinadas a la preservación de la biodiversidad en la región amazónica de Ecuador. Este fenómeno se debe principalmente a la limitada accesibilidad a estas tecnologías y, en algunos casos, a la falta de conocimiento sobre su aplicación. La escasez de financiamiento también juega un papel crucial en esta situación. Además, la percepción social errónea y la falta de educación en este ámbito contribuyen a la subutilización de herramientas moleculares modernas. Esto se debe a que, con frecuencia, se confunde el uso de marcadores moleculares y códigos de barras de ADN con la ingeniería genética, una disciplina que a menudo está rodeada de estigmas que carecen de una base científica sólida.

Por otro lado, no existen registros documentados sobre la aplicación de ingeniería genética en especies de la Amazonía Ecuatoriana. No obstante, en otras regiones, ya ha comenzado a implementar la ingeniería genética en especies amazónicas, como el árbol de caucho (*Hevea brasiliensis*) y la palmera de asaí (*Euterpe oleracea*).

1.Los resultados no diferenciaron las variedades según su lugar de origen.

2.Al ser un cultivo clonal, se espera que los marcadores moleculares tengan alta similitud. Las diferencias a nivel de ADN para clones son mínimas y requieren de un escrutinio exhaustivo.

Hevea brasiliensis, conocida por su producción de látex y su importancia en la industria del caucho, enfrenta desafíos ambientales significativos cuando se cultiva, incluyendo la deforestación y la pérdida de biodiversidad en la región amazónica. Para mitigar estos problemas, se están explorando estrategias de ingeniería genética destinadas a desarrollar variedades de *Hevea brasiliensis* con una mayor producción de látex y resistencia a enfermedades. Estas investigaciones incluyen el estudio de genes como el *HbWRKY40*, que desempeña un papel crucial en la mejora de la resistencia a patógenos, permitiendo que la especie prospere en una variedad de condiciones climáticas y de suelo (Yang et al., 2020).

La palmera de asaí (*Euterpe oleracea*), apreciada por sus propiedades antioxidantes y terapéuticas, enfrenta amenazas debido a la degradación de su hábitat. La ingeniería genética busca identificar genes relacionados con la resistencia a enfermedades y al estrés ambiental en esta especie, con el objetivo de transferirlos mediante transformación genética, posiblemente desde otras especies de palmeras o microorganismos asociados. Además, la ingeniería genética se emplea para mejorar la calidad nutricional y características de las bayas de asaí. El gen de *PARAOXONASA 1* en *Euterpe oleracea* podría ser regulado para su uso potencial como terapia en el tratamiento de lesiones hepáticas (Pereira et al., 2016).

4.5. Conclusión

En el lado positivo, la biotecnología puede desempeñar un papel crucial en los esfuerzos de conservación mediante técnicas como la conservación *ex situ*, donde el material genético de especies en peligro de extinción se preserva en laboratorios, ofreciendo una protección vital contra la extinción. Además, herramientas biotecnológicas, incluidas la ingeniería genética y la clonación, pueden utilizarse para restaurar y mejorar las poblaciones de

especies amenazadas. En el ámbito agrícola, la biotecnología contribuye al desarrollo de cultivos más resistentes a plagas y enfermedades, lo que reduce la necesidad de insumos químicos dañinos y protege los ecosistemas naturales.

Sin embargo, las intervenciones biotecnológicas también conllevan riesgos potenciales para las especies y los ecosistemas nativos, como efectos no deseados que podrían alterar los equilibrios naturales. Además, la comercialización de aplicaciones biotecnológicas puede priorizar las ganancias sobre la conservación, generando problemas como la biopiratería y la explotación de recursos genéticos.

A pesar de estos desafíos, descartar completamente el uso de herramientas modernas debido a sus posibles repercusiones negativas sería un error. Como se ha señalado anteriormente, estas herramientas son de gran valor para la preservación de la biodiversidad en diversos aspectos. La estigmatización de la biotecnología podría incluso facilitar la biopiratería, permitiendo que terceros se beneficien de recursos que la comunidad científica y la población local no están utilizando o aprovechando plenamente. Por lo tanto, *los esfuerzos deben dirigirse hacia un enfoque integral que fomente el aprovechamiento sostenible de los recursos, la conservación de la biodiversidad y la promoción de prácticas responsables, en lugar de limitarse exclusivamente a la protección estricta.*

Lograr un equilibrio entre los beneficios de la innovación biotecnológica y su aplicación responsable y ética es esencial para la coexistencia armoniosa entre la biotecnología y la conservación de la biodiversidad. Para ello, son indispensables los marcos regulatorios estrictos, una mayor conciencia pública y una cooperación internacional sólida, que permitan mitigar los impactos negativos potenciales y fomentar una relación sostenible entre el desarrollo biotecnológico y la preservación de la biodiversidad.

Referencias

- Altieri, M. A., Funes-Monzote, F. R., & Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 1-13. h
- Ardhede, H. (2006). Traditional Knowledge and the Patent System—Irreconcilable differences or a simple case of mistaken identity? [Tesis de maestría, Universidad de Lund]. <https://www.semanticscholar.org/paper/Traditional-Knowledge-and-the-Patent-System-or-a-of-Ardhede/6af19e6a0404c08be4bb52bdf6dcd0c45840e185>
- Bohra, A., Chand Jha, U., Godwin, I. D., & Kumar Varshney, R. (2020). Genomic interventions for sustainable agriculture. *Plant Biotechnology Journal*, 18(12), 2388-2405.
- Brauer, C. J., Sandoval-Castillo, J., Gates, K., Hammer, M. P., Unmack, P. J., Bernatchez, L., & Beheregaray, L. B. (2023). Natural hybridization reduces vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 13(3), 282-289.
- Campi, M., Dueñas, M., & Fagiolo, G. (2021). Specialization in food production affects global food security and food systems sustainability. *World Development*, 141, 105411.
- Campos Torres, M. A. (2023). Estudio agronómico de las plantas medicinales amazónicas. [Monografía, Universidad Nacional de Ucayali. Perú.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M., & Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1(5), e1400253.
- Cutié, D., & Vernaza, G. D. (2022). Los derechos de la naturaleza desde la mirada de los jueces en Ecuador. *REVISTA IUS*, 16(49).
- Dusseux, N., van der Valk, T., Morales, H. E., Wheat, C. W., Díez-del-Molino, D., von Seth, J., Foster, Y., Kutschera, V. E., Guschanski, K., Rhie, A., Phillippy, A. M., Korlach, J., Howe, K., Chow, W., Pelan, S., Mendes Damas, J. D., Lewin, H. A., Hastie, A. R., Formenti, G., ... Dalén, L. (2021). Population genomics of the critically endangered kākāpō. *Cell Genomics*, 1(1), 100002.
- Erazo-García, M., Guadalupe, J. J., Rwontree, J., Borja, P., Espinosa, N., & Torres, M. (2021). Diversity | Free Full-Text | Assessing the Genetic Diversity of *Ilex guayusa* Loes., a Medicinal Plant from the Ecuadorian Amazon. *Diversity*, 13, 182.
- Faleiro, F., Pires, J., Monteiro, W., Lopes, U., Yamada, M., Piedra, A., Moura, A., Arevalo, E., Marques, J., Gramacho, K., Faleiro, A., & Santos, M. (2004). Variability in cacao accessions from the Brazilian, Ecuadorian, and Peruvian Amazons based on molecular markers and Peruvian Amazons based on molecular markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 4, 227-233.
- Figuera Vargas, S. C., & Robles Arias, J. L. (2020). Delitos contra el patrimonio genético nacional desde la perspectiva del COESCCI. *Revista de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*, 50(132), 80-99.
- Fletcher, M.-S., Hamilton, R., Dressler, W., & Palmer, L. (2021). Indigenous knowledge and the shackles of wilderness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(40), e2022218118.
- Freebern, E., Santos, D. J. A., Fang, L., Jiang, J., Parker Gaddis, K. L., Liu, G. E., VanRaden, P. M., Maltecca, C., Cole, J. B., & Ma, L. (2020). GWAS and fine-mapping of livability and six disease traits in Holstein cattle. *BMC Genomics*, 21(1), 41.

- Grant, D. M., Brodnicke, O. B., Evankow, A. M., Ferreira, A. O., Fontes, J. T., Hansen, A. K., Jensen, M. R., Kalaycı, T. E., Leeper, A., Patil, S. K., Prati, S., Reunamo, A., Roberts, A. J., Shigdel, R., Tyukosova, V., Bendiksby, M., Blaaid, R., Costa, F. O., Hollingsworth, P. M., ... Ekrem, T. (2021). The Future of DNA Barcoding: Reflections from Early Career Researchers. *Diversity*, *13*(7), Article 7.
- Hulme, P. E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, S., Panov, V., Pergl, J., Pyšek, P., Roques, A., Sol, D., Solarz, W., & Vilà, M. (2008). Grasping at the routes of biological invasions: A framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, *45*(2), 403-414.
- Kirkby, J., O'Keefe, P., & Timberlake, L. (2023). ■ Sustainable Development: An Introduction. In *The Earthscan Reader in Sustainable Development* (pp. 1-14). Routledge.
- Ko, Y.-S., Kim, J. W., Lee, J. A., Han, T., Kim, G. B., Park, J. E., & Lee, S. Y. (2020). Tools and strategies of systems metabolic engineering for the development of microbial cell factories for chemical production. *Chemical Society Reviews*, *49*(14), 4615-4636.
- Kosch, T. A., Waddle, A. W., Cooper, C. A., Zenger, K. R., Garrick, D. J., Berger, L., & Skerratt, L. F. (2022). Genetic approaches for increasing fitness in endangered species. *Trends in Ecology & Evolution*, *37*(4), 332-345.
- Krause, T., & Zambonino, H. (2013). More than just trees – animal species diversity and participatory forest monitoring in the Ecuadorian Amazon. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, *9*(3), 225-238.
- Laird, S., & Wynberg, R. (2008). Access and Benefit-Sharing in Practice: Trends in Partnerships Across Sectors. CBD Technical Series No. 38. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-38-en.pdf>
- Mendoza-Montesdeoca, I., Rivera-Mateos, M., & Doumet-Chilán, N. Y. (2022). Políticas públicas ambientales y desarrollo turístico sostenible en las áreas protegidas de Ecuador. *Revista de Estudios Andaluces*, *43*, Article 43.
- Mondal, R., Kumar, A., & Gnanesh, B. N. (2023). Crop germplasm: Current challenges, physiological-molecular perspective, and advance strategies towards development of climate-resilient crops. *Heliyon*, *9*(1), e12973.
- Mora, F. C., Moran, E. H., García, E. L., & Litardo, R. M. (2020). Importancia de los conocimientos tradicionales, recursos genéticos y derechos de propiedad intelectual. *Journal of science and research*, *5*(CININGEC), 60-78.
- Oleas, N., Meerow, A., & Ortega, J. (2013). Molecular Markers and Conservation of Plant Species in the Latin-America: The Case of *Phaedranassa viridiflora* (Amaryllidaceae). *The Botanical Review*, *4*, 507-527.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N. K., Edenhofer, O., Elgizouli, I., Field, C. B., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestvedt, J., Gomez-Echeverri, L., Hallegatte, S., ... van Ypserle, J.-P. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://epic.awi.de/id/eprint/37530/>
- Pereira, R. R., de Abreu, I. C. M. E., Guerra, J. F. da C., Lage, N. N., Lopes, J. M. M., Silva, M., de Lima, W. G., Silva, M. E., & Pedrosa, M. L. (2016). Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Upregulates Paraoxonase 1 Gene Expression and Activity with Concomitant Reduction of Hepatic Steatosis in High-Fat Diet-Fed Rats. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, *2016*, 8379105.

- Rodas, M., Ullauri Donoso, N., & Sanmartín, I. (2015). El Turismo Comunitario en el Ecuador: Una revisión de la literatura. *RICIT: Revista Turismo, Desarrollo y Buen Vivir*, *9*, 60-78.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, *287*(5459), 1770-1774.
- Simberloff, D., Martin, J.-L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B., García-Berthou, E., Pascal, M., Pyšek, P., Sousa, R., Tabacchi, E., & Vilà, M. (2013). Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, *28*(1), 58-66.
- Thomson, L. J., Macfadyen, S., & Hoffmann, A. A. (2010). Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, *52*(3), 296-306.
- United Nations Environment Programme. (1992). *Convention on biological diversity*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8340>
- Villalta, I., Ledet, R., Baude, M., Genoud, D., Bouget, C., Cornillon, M., Moreau, S., Courtial, B., & Lopez-Vaamonde, C. (2021). A DNA barcode-based survey of wild urban bees in the Loire Valley, France. *Scientific Reports*, *11*(1), 4770.
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Harvard University Press.
- Yadav, A. N., Suyal, D. C., Kour, D., Rajput, V. D., Rastegari, A. A., & Singh, J. (2022). Bioremediation and Waste Management for Environmental Sustainability. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, *10*(2), 1-5.
- Yáñez, P. (2016). Las áreas naturales protegidas del Ecuador: características y problemática general. *Qualitas*, *11*, 41-55.
- Yang, J., Wang, Q., Luo, H., He, C., & An, B. (2020). HbWRKY40 plays an important role in the regulation of pathogen resistance in *Hevea brasiliensis*. *Plant Cell Reports*, *39*(8), 1095-1107.

cedia

El sello editorial de la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia - CEDIA, nace con la finalidad de apoyar a la creación y la publicación de resultados, investigaciones y procesos académicos, que fomenten el desarrollo de la ciencia y la innovación a nivel nacional e internacional.



ikiam.edu.ec

Este libro trata la investigación de cinco cultivos icónicos que han prosperado en el corazón de la selva amazónica ecuatoriana, una región de exuberantes selvas y una biodiversidad incomparable, donde la riqueza agrícola ha sido fundamental para el sustento de las poblaciones indígenas a lo largo de milenios. Los cinco cultivos incluyen: el cacao fino de aroma (*Theobroma cacao*), guayusa (*Ilex guayusa*), ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*), chuchuguazo (*Maytenus laevis*) y la yuca (*Manihot esculenta*).

El apartado sobre Aplicaciones Biotecnológicas resalta la creciente importancia de esta disciplina como una herramienta efectiva para abordar una amplia gama de desafíos en campos diversos, desde la medicina hasta la agricultura y la conservación ambiental. Se explorarán temas como el cultivo in vitro, la genética funcional, las técnicas de biología molecular y el uso de bioinsumos, destacando los avances logrados en cinco cultivos representativos. En el caso de la ayahuasca y el chuchuguazo, el contenido se diversifica en estudios sobre su fitoquímica.

El avance en biotecnología presenta una dualidad: puede contribuir al cuidado o, por el contrario, poner el riesgo su preservación, dependiendo de los métodos y aplicaciones utilizados. Por ello, el último apartado de este trabajo cubre temas como la conservación de la biodiversidad, el manejo de recursos genéticos, el acceso equitativo y la distribución de beneficios.



cedia
cedia.edu.ec



ISBN: 978-9942-8795-5-4



9 789942 879554