



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Exámen de Carácter Complexivo, presentado
al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la
obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“La importancia del uso de la Biotecnología vegetal en el Ecuador.”

AUTOR:

David Isaac Cerezo Tigrero

TUTOR:

Ing. Agr. Carlos Barros Veas, Ms.C.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

El presente documento detalla sobre la importancia del uso de la Biotecnología vegetal en el Ecuador, donde los objetivos planteados fueron sistematizar información referente a los procedimientos y usos de las técnicas de biotecnología vegetal y establecer los beneficios que aporta la biotecnología vegetal en el Ecuador. Las conclusiones determinaron que la biotecnología engloba una diversidad extensa de metodologías, siendo el cultivo de tejidos vegetales la más destacada en nuestra nación. Este proceso comienza con la identificación y selección de tejidos vegetales en el campo, seguida de la propagación clonal in vitro de plantas que exhiben rasgos superiores, preservando así su calidad y salud vegetativa. Además, abarca la utilización de avances científicos y tecnológicos en la manipulación de plantas, destinados a mejorar la producción de cultivos mediante el cultivo de genotipos adaptados y la integración de rasgos valiosos. Esto se logra mediante la exploración de aplicaciones novedosas y la expansión del conocimiento genético, utilizando una amplia gama de técnicas como el mejoramiento clásico, la citogenética, la genética molecular, los recursos fitogenéticos, el mapeo genético, la transcriptómica, la transgénesis y la interferencia de ARN. El empleo de técnicas biotecnológicas en el país resulta ventajoso por sus contribuciones a la mejora de los cultivares, destacando el caso del banano, principal producto de exportación.

Palabras claves: mejoramiento, biotecnología, cultivos, producción.

SUMAMRY

This document details the importance of the use of plant biotechnology in Ecuador, where the objectives were to systematize information regarding the procedures and uses of plant biotechnology techniques and establish the benefits that plant biotechnology provides in Ecuador. The conclusions determined that biotechnology encompasses an extensive diversity of methodologies, with plant tissue culture being the most prominent in our nation. This process begins with the identification and selection of plant tissues in the field, followed by in vitro clonal propagation of plants that exhibit superior traits, thus preserving their quality and vegetative health. Furthermore, it encompasses the use of scientific and technological advances in plant manipulation, aimed at improving crop production through the cultivation of adapted genotypes and the integration of valuable traits. This is achieved by exploring novel applications and expanding genetic knowledge, using a wide range of techniques such as classical breeding, cytogenetics, molecular genetics, plant genetic resources, genetic mapping, transcriptomics, transgenesis and interference. of RNA. The use of biotechnological techniques in the country is advantageous due to its contributions to the improvement of cultivars, highlighting the case of bananas, the main export product.

Keywords: improvement, biotechnology, crops, production.

CONTENIDO

1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	5
2. DESARROLLO	6
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1.1. Importancia de la biotecnología vegetal	6
2.1.2. Técnicas de biotecnología vegetal.	8
2.1.3. Establecer los beneficios que aporta la biotecnología vegetal en el Ecuador. ...	17
2.2. MARCO METODOLÓGICO.....	20
2.3. RESULTADOS	21
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	22
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
3.1. CONCLUSIONES	24
3.2. RECOMENDACIONES.....	25
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	26
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	26
4.2. ANEXOS	30

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La agricultura desempeña un papel crucial como una de las principales ocupaciones humanas. A lo largo de gran parte de su existencia en la Tierra, la especie humana se procuró alimentos, vestimenta y atendió a sus necesidades esenciales sin recurrir a la práctica agrícola. No obstante, el enfoque de la Revolución Verde en el contexto de la agricultura contemporánea ha resultado en un notable aumento de la productividad agrícola. Este modelo agrícola, caracterizado por la mecanización y el uso extensivo de insumos costosos como pesticidas, fertilizantes, combustibles fósiles, maquinaria y agua de riego, está siendo examinado actualmente por su sostenibilidad debido a una serie de impactos ecológicos, económicos y sociales derivados de prácticas modernas de producción (Companioni *et al.* 2019).

La conservación de los recursos fitogenéticos asegura su utilización potencial como fuente de variación genéticamente valiosa, al mismo tiempo que previene la pérdida de diversidad genética en la agricultura, lo que resulta en una reducción del material vegetal disponible para las generaciones presentes y futuras (Rayas *et al.* 2019).

Este modelo agrícola no resuelve el problema del hambre, ya que el número de personas que padecen hambre sigue aumentando y llegó a 821 millones en 2017. Sin embargo, otro grupo de personas desnutridas consumen dietas insuficientes en calorías. La producción sostenible de alimentos sin dañar el medio ambiente es un desafío que requiere transformar los sistemas agrícolas convencionales hacia métodos agroecológicos para mejorar los rendimientos y la calidad de los cultivos, y reducir el impacto negativo de los agroquímicos (Companioni *et al.* 2019).

El mejoramiento genético en Ecuador comenzó en 1952 en la Estación Experimental Tropical de Pichilingue (EETP), ubicada en la región costera del centro de Ecuador, con financiamiento principalmente de personal extranjero y del sector cooperativo (SCIA). A partir de 1963, la EETP pasó a depender del Instituto Nacional de Agricultura (INIAP), que inició sus esfuerzos de mejoramiento genético estableciendo un programa de maíz en 1961 en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC), al sur de Quito. Desde entonces, el INIAP ha realizado mejoramiento genético de maíz en Ecuador, creando variedades para las regiones tropicales secas y húmedas de los Andes, los valles inter-Sierra y las zonas costeras o costeras. A la fecha, el INIAP ha creado 25 variedades, incluyendo 22 variedades para la Sierra y 9 híbridos para zonas costeras (Albán *et al.* 2023).

La exploración de mecanismos que puedan emplearse para mejorar las condiciones de crecimiento de las plantas, empleando fitohormonas como base, ha permitido un control específico sobre procesos como la producción de metabolitos secundarios, el momento del crecimiento, la reducción de la concentración de patógenos, la inducción de la maduración de los frutos, el cruce de especies de plantas para el mejora de productos industriales (alimentos), etc., que son inherentemente difíciles de regular en un entorno de cultivo convencional (Alcantara *et al.* 2019).

La biotecnología vegetal es un frente importante para el mejoramiento genético. Las herramientas como el cultivo *in vitro* permiten la propagación masiva, trabajo con numerosos individuos en un espacio controlado y añadir agentes de selección. Se pueden eliminar plantas susceptibles a la salinidad al añadir altas concentraciones de sal al medio, resultando en la supervivencia de las resistentes. Con esta estrategia de selección, se pueden obtener plantas resistentes a sequía, herbicidas y enfermedades, entre otros (Pérez 2021).

Hasta el momento, la mayoría de los estudios en Ecuador se han centrado en el cultivo de células y tejidos, técnicas de ingeniería genética y diagnóstico molecular con escasa atención a la caracterización del germoplasma del arroz con el fin de

evaluar su potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades y estrés ambiental, así como para asegurar su conservación a largo plazo. Por consiguiente, se vislumbra un destacado potencial para la implementación de la biotecnología gracias a los notables avances internacionales en las áreas de la genética molecular, la ingeniería genética y la bioinformática, con el propósito de generar nuevas variedades adaptadas a condiciones de estrés biótico y abiótico, que sean acordes a las demandas de mitigación y adaptación al cambio climático (Almeida 2019).

La misma fuente señala que de igual manera se pueden generar mejoras significativas, tales como la implementación de la biofortificación en el cultivo, la mejora sustancial de la calidad del grano y la creación de productos finales con mayor valor añadido. Permanece latente la exigencia de reforzar los marcos normativos en relación al empleo de la biotecnología, tanto en términos de resguardo medioambiental y la preservación de la salud humana, como en el ámbito de los derechos de propiedad y las condiciones de acceso (Almeida 2019).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la última década, la biotecnología ha experimentado un progreso significativo y acelerado. Al aprovechar la manipulación y la experimentación genética, su utilización en diversas industrias ha impulsado avances continuos dirigidos a la producción de bienes o servicios dentro del ámbito de la materia viva. Estos avances innovadores han precipitado una gran cantidad de desafíos, particularmente en las naciones subdesarrolladas donde persisten las limitaciones tecnológicas, impidiendo así el aprovechamiento eficiente de los recursos biológicos a través de la inversión financiera (Ortega 2020).

Existen varios factores que ejercen un impacto adverso en el desempeño agrícola de los cultivos. Entre ellos, la presencia de mezclas varietales en las fincas, la presencia de plagas y enfermedades, junto con el deterioro genético inherente de las variedades, ocasiona una reducción en los niveles de producción (Arellano *et al.*

2009).

Los principales desafíos asociados con la propagación *in vitro* abarcan la contaminación de los brotes apicales y los segmentos nodales, hiperhidricidad, disponibilidad limitada de explantes, sensibilidad a la desinfección y germinación retrasada (Jimí *et al.* 2017).

1.3. JUSTIFICACIÓN

Biología engloba una amplia gama de técnicas que hacen uso de organismos vivos o sus componentes con el fin de efectuar la producción o modificación de productos, mejorar la composición genética de plantas o animales, o bien desarrollar microorganismos con aplicaciones específicas.

La biología tiene el potencial de revolucionar la comunidad industrial del siglo XXI, ya que puede permitir la producción de cantidades prácticamente infinitas de sustancias que antes no estaban disponibles, productos que normalmente se obtienen en cantidades limitadas, productos con costos de producción significativamente más bajos en comparación con los fabricados por medios convencionales, productos que ofrecen mayor seguridad en comparación con las opciones existentes, y productos derivados de materias primas nuevas, más abundantes y rentables.

La biología contemporánea requiere un seguimiento estricto de sus impactos ambientales y de salud humana, garantizando la seguridad de sus productos, combatiendo la biopiratería, mitigando las consecuencias del libre comercio e impidiendo la explotación no regulada por parte de individuos desprovistos de calificaciones o credenciales adecuadas en relación con la biodiversidad. La biología se vale de enfoques y técnicas novedosos para investigar y aplicar el conocimiento genético de los organismos vivos y manipular los procesos fundamentales de la vida a escala molecular.

Por ello, la presente investigación detalló sobre la importancia del uso de la Biotecnología vegetal en el Ecuador

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Describir la importancia del uso de la Biotecnología vegetal en el Ecuador.

1.4.2. Objetivos específicos

- Sistematizar información referente a los procedimientos y usos de las técnicas de biotecnología vegetal.

- Establecer los beneficios que aporta la biotecnología vegetal en el Ecuador.

1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Dominio: Recursos Agropecuarios, ambiente, biodiversidad y Biotecnología.

Línea: Biotecnología vegetal y animal

Sublínea: Técnicas biotecnológicas

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Importancia de la biotecnología vegetal

La definición de biotecnología es un concepto complejo y variable, que se adapta a distintos grupos de interés y contextos específicos. Desde una perspectiva, se podría considerar como una disciplina científica en su aplicación práctica, mientras que, en un enfoque opuesto, se percibe como una manifestación de la biología contemporánea en el ámbito comercial de bienes y servicios. En términos generales, la biotecnología se refiere al conjunto de técnicas que aprovechan organismos vivos o sus derivados para producir o modificar un producto, mejorar plantas y animales o cultivar microorganismos para aplicaciones específicas (Lizarazo *et al.* 2020).

La adopción generalizada de la biotecnología como paradigma tecnológico primario, que desplaza enfoques más integradores y holísticos, junto con el cultivo extensivo de cultivos transgénicos, si no se regula, puede iniciar un proceso con impactos socioeconómicos y ambientales más profundos que los presenciados durante la Cumbre Verde. Revolución (Castañeda 2017.).

Desde el surgimiento de la práctica agrícola, la humanidad ha llevado a cabo la selección de especies vegetales que ofrecen un mayor rendimiento tanto en términos de alimentos como de materias primas esenciales para la producción de diversos artículos de utilidad, tales como fármacos, agentes medicinales, tintes y condimentos. Los primeros agricultores aumentaron la producción agrícola mediante la práctica de guardar y almacenar selectivamente las semillas de las plantas más deseables para la siguiente temporada de siembra. Durante el último siglo, el avance en el campo de la genética vegetal, marcado por el descubrimiento de las leyes de la herencia por Mendel, ha contribuido significativamente al progreso en el mejoramiento de las plantas (Morais *et al.* 2016).

La biotecnología contemporánea (también conocida como tecnología del ADN recombinante, ingeniería genética o biología molecular) ha avanzado metodologías potentes para la modificación de la información genética en organismos vivos. Una de esas herramientas es la transformación genética, que permite la incorporación de rasgos deseados (genes) de cualquier organismo vivo a otro, como de una planta a otra, o a un animal, a una bacteria y viceversa (Rocha 2015).

Ecuador es un país donde no se permiten cultivos y semillas genéticamente modificados, en cumplimiento de organismos reguladores que prohíben la siembra de semillas genéticamente modificadas o la presencia de contaminación genética en determinadas regiones productivas (Bravo y León 2015).

Similar al fitomejoramiento convencional, la biotecnología se ha centrado principalmente en la búsqueda de mejoras en la productividad y la resistencia de los cultivos agrícolas a los desafíos de plagas y enfermedades. Sin embargo, los rápidos avances en las técnicas de biología molecular han ampliado los horizontes y, en un futuro próximo, la industria, el medio ambiente y la salud humana y animal también cosecharán los beneficios del empleo de estas metodologías innovadoras (Herrera y Trujillo 2007).

La misma fuente indica que estas iniciativas apuntan no sólo a desarrollar variedades de plantas que sean tolerantes a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas para mejorar los rendimientos, sino también a cultivar plantas que tengan la capacidad de generar insumos de alto valor económico y ambiental. La gama de productos que pueden derivarse de plantas transgénicas abarca enzimas, alimentos ricos en nutrientes, productos farmacéuticos, vacunas y plásticos biodegradables (Herrera y Trujillo 2007).

Diversas técnicas que hacen uso de la ingeniería genética han sido analizadas y validadas de manera exitosa en la generación de plantas transgénicas con resistencia a patógenos. Entre las técnicas más destacadas se encuentran la

sobreexpresión de genes virales en plantas, la utilización de ácidos nucleicos interferenciales defectuosos y la expresión de ARN de genes diana utilizando construcciones antisentido, así como un pequeño fragmento de ARN viral que desencadena el mecanismo de silenciamiento génico postranscripcional (Quiñones *et al.* 2017).

2.1.2. Técnicas de biotecnología vegetal.

El aumento de la población humana, junto con la demanda de alimentos y el escenario actual de cambio climático, han planteado desafíos para los investigadores de todo el mundo. Es fundamental potenciar el desarrollo de variedades de cultivos con alta productividad, sumado a una mejor calidad nutricional y una mayor resiliencia a las condiciones abióticas y bióticas, priorizando la sostenibilidad y la conservación de los recursos naturales (João *et al.* 2021).

Una de las estrategias utilizadas para la determinación de hongos microscópicos consiste en el análisis de su morfología, así como en la realización de pruebas fisiológicas y bioquímicas que facilitan la asignación a una identidad genérica o específica de las cepas cuya clasificación es desconocida. A pesar de que estas metodologías pueden carecer de la especificidad necesaria para este propósito en algunos casos, resulta imperativo complementar dichos análisis con técnicas moleculares como recurso adicional para la identificación de microorganismos. La aplicación de técnicas a nivel molecular para la identificación y caracterización de las cepas contribuirá significativamente a la detección precisa de la fuente de contaminación, así como a la formulación de estrategias dirigidas al control de la misma (Minchala y Tacuri 2023).

Dentro de este marco, la ingeniería genética aplicada al fitomejoramiento proporciona la posibilidad de alterar genéticamente los organismos vegetales con el propósito de abordar desafíos específicos y generar productos que presenten las cualidades agronómicas deseadas. No obstante, la obtención de nuevas variedades

con elevado rendimiento agronómico implica un extenso proceso de selección y mejora genética a lo largo de un período prolongado (João *et al.* 2021).

Aumentar el entendimiento de la dinámica de los consorcios naturales de microorganismos con el fin de diseñar consorcios personalizados entre bacterias y hongos que presenten una mayor eficacia en la degradación de un contaminante específico, podría acelerar significativamente el proceso de remediación ambiental en un área determinada mediante la introducción de estos consorcios a través de técnicas de bioaumentación (Catalá 2021).

En los últimos años, la biotecnología ha logrado avances significativos. La implementación en diversos sectores industriales ha propiciado un avance continuo mediante la manipulación genética de organismos vivos con el objetivo de mejorar la producción de bienes y servicios a través de la experimentación. Estas innovaciones han planteado una serie de desafíos, particularmente en los países subdesarrollados donde las limitaciones tecnológicas obstaculizan la plena explotación de los recursos biológicos a través de la inversión económica (Ortega 2020).

La biotecnología vegetal implica la aplicación de avances científicos y tecnológicos a las plantas, con el objetivo de mejorar la producción de cultivos mediante el desarrollo de genotipos adaptados y la creación de rasgos de valor agregado. Esto se logra explorando nuevos usos y aumentando el conocimiento genético, utilizando una variedad de técnicas como el mejoramiento tradicional, la citogenética, la genética molecular, los recursos fitogenéticos, el mapeo genético, la transcriptómica, la transgénesis y la interferencia de ARN (Guisbert 2020).

En la actualidad, resulta fundamental emplear métodos de biología molecular para llevar a cabo análisis taxonómicos, de identificación y de diagnóstico de microorganismos fúngicos. Dichos enfoques moleculares, particularmente aquellos basados en la secuenciación del ADN, han contribuido significativamente a la mejora de la clasificación de los hongos y a la ampliación de la comprensión de sus relaciones

filogenéticas (Minchala y Tacuri 2023).

Las pruebas moleculares utilizadas para la detección de virus y viroides en plantas se basan en la aplicación de técnicas derivadas de la biología molecular, como la PCR en tiempo real y el ELISA, los cuales se emplean con kits especializados y protocolos específicos implementados por diversas instituciones (Sabogal 2022).

En este contexto, aprovechar las tecnologías ómicas de alto rendimiento (por ejemplo, metabolómica, transcriptómica, proteómica) para la generación de datos y la biología de sistemas para el modelado de datos nos brindará la oportunidad de obtener una comprensión más precisa de las operaciones de ecosistemas complejos, acelerando así los procesos de biodegradación. mediante mejoras de consorcios microbianos, suplementación de nutrientes cruciales o manipulación de condiciones ambientales abióticas (Catalá 2021).

Otros métodos utilizados para investigaciones biológicas y evolutivas incluyen: regiones hipervariables de ADN_r (espacio intergénico o espaciadores transcritos internos); Polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (RFLP); hibridación del Sur y del Norte; Análisis de ADN polimórfico amplificado aleatorio (RAPD) del polimorfismo de ADN amplificado con cebadores arbitrarios; Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR); Reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa o PCR en tiempo real, que permite estudios de genes individuales o del genoma completo de un individuo. (Minchala y Tacuri 2023).

El potencial de emplear la biología sintética para generar organismos genéticamente modificados (OGM) con rutas metabólicas personalizadas, junto con técnicas de edición de genes de vanguardia como la tecnología CRISPR, sigue siendo actualmente inalcanzable para los esfuerzos de biorremediación en campo abierto, principalmente debido a las limitaciones sustanciales. impuestas por la normativa vigente en materia de liberación de OGM al medio ambiente. Sin embargo, estas tecnologías sí pueden emplearse para el avance de los sistemas de descontaminación

contenidos, aunque con una trayectoria de aplicación más corta (Catalá 2021).

Además, la propagación in vitro de plantas se ve reforzada por la competencia por la preparación de medios, el establecimiento de plantas en condiciones in vitro, los procesos de micropropagación de plantas y el seguimiento y control de los factores que afectan el cultivo y la propagación in vitro (Sabogal 2022).

La prueba RT-PCR identifica la presencia del virus o viroide en material vegetal mediante el análisis de muestras de material genético para determinar la presencia de secuencias virales. Esto implica utilizar un cebador específico para replicar posibles secuencias virales, preparar una mezcla maestra que contenga los cebadores (adelante y reverso) y la sonda TaqMan. Esta combinación de componentes facilita la replicación de secuencias virales, y la sonda TaqMan facilita la fluorescencia al unirse a las secuencias virales. La señal es detectada por el termociclador, que proporciona resultados de fluorescencia a medida que avanzan los ciclos de replicación (Sabogal 2022).

Algunos de los campos que definen la biotecnología moderna incluyen la ingeniería genética (identificación y aislamiento de genes), el cultivo de microorganismos recombinantes (células y tejidos de animales y plantas), la ingeniería metabólica, la bioelectrónica, la nanobiotecnología, la ingeniería de proteínas (animales y plantas transgénicos), la ingeniería de tejidos e ingeniería de órganos, genómica, proteómica y metabolómica, así como tecnologías de bioseparación y biorreactores (Lizarazo *et al.* 2020).

Una de las áreas que puede respaldar los esfuerzos en mejora genética es la biotecnología vegetal. Varias herramientas, como el cultivo de tejidos in vitro, permiten la propagación masiva de individuos de interés, trabajando con un gran número de individuos en un espacio confinado y en condiciones controladas, así como la posibilidad de introducir agentes selectivos en el medio de cultivo (Chaves 2021).

La biotecnología contemporánea debe ser monitoreada rigurosamente para evaluar sus impactos ambientales y de salud humana, garantizar la seguridad de sus productos, prevenir la biopiratería, mitigar los efectos del libre comercio y regular la concesión indiscriminada de acceso a individuos que explotan la biodiversidad. Biotecnología utiliza enfoques innovadores y técnicas para el análisis y aplicación de la información genética de los organismos vivos, así como para manipular los diversos procesos fundamentales de la vida a nivel molecular (Ortega 2020).

Otras biotecnologías de gran importancia para la mejora incluyen la preservación a mediano y largo plazo mediante la criopreservación, que implica almacenar diversos tejidos vegetales como semillas, ápices, yemas, células y otros en condiciones de temperatura ultrabaja, normalmente utilizando nitrógeno líquido (-196 °C) (Chaves 2021).

El creciente crecimiento demográfico global ha generado un mayor enfoque en el campo de la biotecnología vegetal en años recientes. Esta atención se ha dirigido hacia la generación de alimentos, la mejora de variedades cultivadas, su adaptación a distintas condiciones climáticas y de suelo, así como la obtención de metabolitos con valor comercial. En este contexto, el cultivo de tejidos vegetales ha recibido especial atención debido a que abarca una amplia gama de técnicas que facilitan el cultivo de órganos, tejidos o células en condiciones asépticas en un medio de composición química definida e incubados en condiciones ambientales controladas (Indacochea *et al.* 2020).

Por medio de técnicas de biotecnología vegetal, es posible generar variantes de interés y nuevas variedades agrícolas al inducir mutaciones a través de métodos químicos (empleando agentes mutagénicos) o físicos (como la exposición a radiación ultravioleta, rayos X o rayos gamma) (Chaves 2021).

Esta rama de la biotecnología lleva a cabo estudios innovadores en la

manipulación cromosómica de plantas, con un enfoque particular en mejorar rasgos agronómicos como componentes del rendimiento, resistencia a enfermedades e insectos, mejora y aumento de la producción, calidad nutricional y beneficios para la salud. Además, tiene como objetivo desarrollar nuevas variedades para apoyar el crecimiento empresarial (Guisbert 2020).

La tecnología CRISPR-Cas puede mejorar la implementación de herramientas biotecnológicas en plantas. En un principio, la limitación clave en los procedimientos de edición genética en plantas residía en la carencia de un enfoque eficaz y ampliamente aplicable para la entrega de los diversos elementos del sistema CRISPR-Cas. Esta situación impulsó la creación de diversas estrategias destinadas a posibilitar la modificación genómica sin la necesidad de utilizar ADN exógeno. Posteriormente, la tecnología CRISPR-Cas fue utilizada con el propósito de investigar la regulación de la expresión de genes. En última instancia, debido a su naturaleza fácil de usar y sus sólidas características, se adoptó para la edición genómica multiplexada y eficiente, sirviendo como una herramienta novedosa para la biología sintética de plantas (Aparicio 2021).

Las secuencias CRISPR son una familia de secuencias de ADN que se repiten continuamente en los genomas de los organismos procariotas y están ausentes en eucariotas y virus. Para referirse a estas secuencias, los investigadores les han dado el nombre de: repeticiones palindrómicas cortas agrupadas regularmente interespaciadas por su significado en inglés (clustered regularly interspaced short palindromic repeats). Adicionalmente se ha descubierto que los genes cas en su mayoría se ubican de manera adyacente a un locus CRISPR, lo que denota una relación funcional: por ejemplo, el gen cas3 tiene actividad helicasa, y el gen cas 4 tiene actividad exonucleasa RecB, lo que sugiere que estos genes están comprometidos en el metabolismo del ADN o la expresión génica (Chile 2020).

En 2004, Ecuador celebró un acuerdo para adherirse a la TIRFAA, asumiendo así la responsabilidad de adherirse a los objetivos antes mencionados. Para lograrlo, es necesario implementar estrategias in situ que aseguren la conservación y uso sustentable de los recursos genéticos agrícolas y agroforestales (RFAA), como ferias de intercambio de semillas, centros de bioconocimiento, restitución de germoplasma, agroturismo, fincas diversificadas, entre otros. Además, es factible emplear metodologías ex situ en función del tipo de semilla o mecanismo de reproducción que posea la especie vegetal. Para preservar a largo plazo especies con semillas ortodoxas como el maíz, el frijol, la quinua y el chocho, se recomienda el uso de cámaras frías con temperaturas que oscilen entre -10 y -15 °C. Ante una especie con semillas recalcitrantes o reproducción sexual se deben emplear técnicas de conservación in situ, in vitro o criopreservación. Esto se ilustra con ejemplos como el cacao, las patatas, los cítricos, los tubérculos menores y otras especies (Roura 2022).

Las diversas técnicas de mejoramiento vegetal empleadas incluyen: 1) la utilización de progenitores introducidos y recombinantes, donde las líneas generadas por el programa se combinan con germoplasma introducido; 2) hibridación para lograr cruces simples y triples, y ocasionalmente retrocruzamientos en casos específicos; 3) la rotación de segregantes en diferentes ambientes; 4) selección de masa mediante el método gravimétrico, mediante flotación de semillas; 5) la evaluación de segregantes en lugares propicios para incidencias graves de enfermedades; y 6) la evaluación del desempeño a través de años y diversas ubicaciones bajo condiciones de temporal (Villaseñor *et al.* 2021).

La biotecnología abarca una amplia variedad de técnicas, siendo el cultivo de tejidos vegetales la más relevante en nuestro país. Este proceso comienza con la identificación y selección de tejidos vegetales en el campo, y continúa con la propagación clonal in vitro de plantas que poseen características superiores, preservando su calidad y salud vegetal (Cruz *et al.* 2021).

Desde la década de los años 60 el INIAP ha priorizado la obtención de variedades de arroz de alto rendimiento, resistentes o tolerantes a enfermedades y plagas, con una buena calidad molinera y culinaria, esto junto al estudio y validación de prácticas de cultivo adecuadas, posibilitaban el aumento de la producción nacional. El INIAP, a través del Departamento de Biotecnología de la Estación Experimental del Litoral Sur, desarrolla trabajos en el cultivo de anteras de arroz, práctica que consiste en la obtención de plantas a partir de células gaméticas como los granos del polen (INIAP 2024).

La primera etapa del proceso se desarrolla en laboratorio con material *in vitro*, es decir, se cultivan *in vitro*, anteras que contienen microsporas o granos de polen inmaduros en pequeños frascos de vidrio, con un medio nutritivo en condiciones estériles, con el propósito de obtener plántulas haploides. (*Haploide* se refiere a una célula o a un organismo que sólo tiene un único conjunto de cromosomas). Para la segunda etapa, las líneas generadas en el laboratorio son llevadas a invernadero para evaluación de las plantas y obtención de la semilla que luego es entregada al Programa de Arroz del INIAP, con el fin de continuar con la evaluación en campo de las plantas y así obtener una nueva variedad con buenas características (INIAP 2024).

Actualmente, la técnica biotecnológica más importante es la criopreservación. Esta técnica emplea temperaturas ultrabajas para evitar el crecimiento del explante hasta que alcance un estado de latencia. Esta técnica suele implicar la utilización de nitrógeno líquido, que alcanza una temperatura de -196 °C. Los explantes se pueden conservar durante un período prolongado, siempre que se mantengan a la temperatura del nitrógeno líquido en tanques de almacenamiento. Actualmente y en perspectiva, la biotecnología desempeña una función fundamental en la preservación de los Recursos Naturales de la Flora y la Fauna, particularmente en los bancos de germoplasma encargados de la preservación y análisis de la biodiversidad con el objetivo de promover su utilización de forma sostenible y justificada (Roura 2022).

Por otro lado, la micropropagación in vitro de plantas representa una técnica valiosa que facilita la propagación clonal de árboles seleccionados con rasgos fenotípicos deseables, lo que en última instancia conduce a una mayor tasa de multiplicación que no se puede lograr mediante la reproducción sexual únicamente. Además se obtendrán plantas con un alto nivel de sanidad (Cruz *et al.* 2021).

Ecuador resalta la notable labor del banco de germoplasma del INIAP al mantener una colección que comprende más de 28.000 accesiones pertenecientes a 290 géneros y más de 500 especies cultivadas, empleando una variedad de técnicas como la utilización de cámaras refrigeradas, campos experimentales, cultivos in vitro y crioconservación. Igualmente, se están implementando estrategias de cultivo a escala reducida para la preservación de 1.000 variedades de raíces y tubérculos andinos, incluyendo la papa, melloco, oca, mashua y jícama, las cuales representan especies clave de la agrobiodiversidad (Roura 2022).

Bioteología combina diversas metodologías provenientes de la tecnología y la aplicación de las disciplinas biológicas, como la biología celular, molecular y la bioinformática. Uno de los principales objetivos de la bioteología es desarrollar tecnologías más eficientes para producir semillas de alta calidad mediante la micropropagación de plantas (Cruz *et al.* 2021).

A la fecha, el INIAP ha entregado al sector agropecuario del país, 17 materiales de arroz. La calidad de grano está en función de la demanda del productor, industrial y consumidor. Las variedades que el INIAP selecciona para su distribución son de grano largo (6,6 a 7,5 mm), extra largo (más de 7,5 mm), translúcido, más del 60% de grano entero al pilar, y de textura suave y granos sueltos al cocinarse. La técnica implementada permitirá al programa de mejoramiento genético del rubro, reducir los tiempos en los que se puede obtener una variedad con características mejoradas en cuanto a calidad del grano, así como tolerancia a salinidad y sequía (INIAP 2024).

La mayor parte de la investigación básica en biotecnología agrícola y sus avances se han enfocado a la aplicación del cultivo de anteras para desarrollar líneas homocigotas en menor tiempo y con mayor eficiencia, obstaculizada por la dependencia de la respuesta y los genotipos de arroz indica. Por otro lado se observan esfuerzos de caracterización del germoplasma disponible mediante uso de los marcadores moleculares. El país tiene un alto potencial para la aplicación de la biotecnología en este y otros cultivos, debido a su megabiodiversidad, la cual aún no está suficientemente investigada y documentada. Existe el personal capacitado y laboratorios en instituciones públicas y privadas (Almeida 2019).

2.1.3. Beneficios que aporta la biotecnología vegetal en el Ecuador.

En Ecuador, las investigaciones realizadas sobre el efecto de los fitorreguladores en la callogénesis de las flores del cacao (*Theobroma cacao* L.), específicamente de la variedad nacional en Milagro-Guayas, tienen como objetivo explotar al máximo la capacidad callogénica de los tejidos florales del cacao. Se recomiendan más estudios para determinar las condiciones óptimas para el cultivo in vitro de estos tejidos. Esto abarca la selección de medios de cultivo adecuados, la optimización de las concentraciones hormonales y la exposición a la luz. Además, se lleva a cabo un monitoreo exhaustivo de los tejidos en diversas fases del cultivo in vitro. Esto permitirá una comprensión más profunda de cómo estos tejidos responden a diversas condiciones de cultivo y cómo se puede optimizar su capacidad callogénica, utilizando técnicas de microscopía para la detección temprana de la formación de callos, facilitando así la mejora de los procesos de producción de callos y plantas in vitro (Fernández 2023).

En Ecuador se observa una coyuntura prometedora, caracterizada por avances legislativos significativos, argumentos sólidos a favor de la preservación de la agrobiodiversidad y un creciente cuerpo de evidencia que alerta sobre las posibles consecuencias de la introducción de cultivos genéticamente modificados en el país. No obstante, numerosas figuras prominentes dentro de la administración

gubernamental, en particular el jefe de Estado, han reiterado de manera constante su propósito de respaldar y fomentar la introducción de tales cultivos, lo cual constituye una clara contradicción con la voluntad mayoritaria de la población ecuatoriana, tal como se establece en la Constitución de la República aprobada en el año 2008 (IPDRS 2015).

Con el avance de la biotecnología, se abren nuevas oportunidades innovadoras, y América Latina, incluyendo específicamente el país de Ecuador, se encuentra inmersa en este escenario. La incorporación de la biotecnología en la sociedad ecuatoriana se visualiza como una posibilidad valiosa. Un ejemplo de esto es la destacada presencia de laboratorios de investigación en biotecnología industrial en Ecuador, enfocados principalmente en el estudio de especies vegetales. Dado que la agricultura es una actividad económica primordial en la mayoría de los países latinoamericanos, esta iniciativa destaca la importancia y relevancia de la biotecnología en la región (Ortega 2020).

La biotecnología tiene el potencial de mejorar la productividad mediante el desarrollo de plantas adaptadas al entorno que las rodea, minimizar los costos de producción, fomentar avances y mejoras en los productos alimenticios y promover prácticas ecológicas. En conclusión, está preparado para impulsar la agricultura sostenible aprovechando recursos que estén mejor alineados con los principios ambientales, ayudando así a satisfacer las necesidades actuales sin poner en peligro las de las generaciones futuras (Sánchez 2013).

La investigación y el desarrollo de nuevas cepas bacterianas capaces de producir celulosa bacteriana (BC) es un tema de gran importancia en los tiempos contemporáneos, particularmente en el ámbito de la biotecnología y las aplicaciones industriales. Este estudio se centra en cepas autóctonas de Ecuador, con especial énfasis en las bacterias acéticas PDC 21 y PDC 25, abriendo así nuevas oportunidades para la producción de CB. La metodología del estudio implicó el cultivo axénico de cepas y la observación de la formación de biopelículas de CB. Se

realizaron fermentaciones y se analizó la eficiencia en la producción de celulosa bacteriana en relación con un grupo de control de *Komagataeibacter xylinus* (Álvarez 2023).

Además, se realizaron tratamientos ácidos, térmicos y mecánicos para la obtención de nanocelulosa. La morfología de las muestras se examinó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), mientras que se empleó espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para evaluar sus propiedades químicas. El estudio finaliza con la sugerencia de que la cepa PDC 25 podría representar una alternativa viable para la producción de CB en aplicaciones industriales. Esta conclusión se deriva de su rendimiento de producción, consumo de glucosa y las características del CB producido, que se parecen mucho a las de la cepa DSMZ 2004 comúnmente empleada como modelo para investigación y aplicaciones industriales. Este hallazgo presenta nuevas oportunidades para la producción de CB y biotecnología en Ecuador". Reescrito en tono académico: "Este descubrimiento presenta perspectivas novedosas para el avance de la producción de CB y la biotecnología en el Ecuador (Álvarez 2023).

El desafío que enfrentan los países latinoamericanos radica en la necesidad de implementar políticas que apoyen la mejora de la disponibilidad de infraestructura local y el financiamiento para aprovechar plenamente los recursos humanos y contribuir a abordar problemas sociales de alto impacto. Estas tecnologías de vanguardia están preparadas para tener un impacto significativo en los campos asociados con la medicina y la producción agrícola (Ortega 2020).

Actualmente, los beneficios de la biotecnología abarcan la resistencia a las enfermedades, la disminución del uso de pesticidas, la mejora de la calidad nutricional de los alimentos, la tolerancia a los herbicidas, el crecimiento acelerado de los cultivos y los avances en el sabor y la calidad (Vásquez 2018).

Varios institutos de investigación especializados en Ingeniería Genética y Biotecnología se dedican al desarrollo de plantas genéticamente modificadas con resistencia frente a diversas plagas y enfermedades vegetales. Además, exploran la posibilidad de emplear las plantas como instalaciones bioquímicas para producir enzimas de aplicación industrial, productos biofarmacéuticos y otras sustancias innovadoras, generando avances significativos en este ámbito. (Quiñones *et al.* 2017).

Existen múltiples centros de investigación y biotecnología en el país; sin embargo, sólo una de ellas, la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL), se encuentra actualmente inmersa en el desarrollo de una modificación genética específica destinada a controlar la sigatoka negra en el cultivo de banano, denominada 'plátano cisgénico'. Para lograr este propósito, se lleva a cabo la combinación de los genes de dos distintas variedades de banano con el objetivo de incrementar su resistencia (IPDRS 2015).

2.2. MARCO METODOLÓGICO

El presente manuscrito se desarrolló mediante una recopilación bibliográfica, empleando diversas fuentes de información obtenidas de sitios web, trabajos de investigación de entidades competentes como tesis de pregrado y posgrado, artículos científicos, revistas indexadas de alto impacto y libros.

Una vez extraída la información de diversas fuentes, se procedió a realizar un análisis riguroso, una síntesis concisa y un resumen preciso con el propósito de obtener datos pertinentes al tema de investigación. Esto permitió alcanzar conclusiones congruentes con los objetivos planteados y presentar resultados que sean accesibles y comprensibles para el lector, en relación a la temática del empleo de la Biotecnología vegetal en el contexto ecuatoriano.

El presente estudio de investigación se lleva a cabo como un diseño no experimental con enfoque bibliográfico, en el que se recopilan datos relevantes para

obtener la información más necesaria y crucial para la generación de resultados y conclusiones correspondientes con base en los objetivos previamente detallados.

2.3. RESULTADOS

Técnicas biotecnológicas:

Las técnicas de biotecnología vegetal como el mejoramiento tradicional, la citogenética, la genética molecular, los recursos fitogenéticos, el mapeo genético, la transcriptómica, la transgénesis y la interferencia de ARN con los avances científicos y tecnológicos a las plantas, con el objetivo de mejorar la producción de cultivos mediante el desarrollo de genotipos adaptados y la creación de rasgos de valor agregado.

En el caso de Ecuador, la investigación relacionada a biotecnología ha estado enfocada a la identificación de variabilidad genética en poblaciones biológicas, su selección y producción de variedades adaptadas. Las tecnologías de cultivo de tejidos están frecuentemente presentes en casi todos los laboratorios del país y también el uso de marcadores moleculares como los RAPDs es relativamente común.

Es innegable que la mejora de las plantas mediante métodos convencionales, como los cultivos de tejidos, ha demostrado tener un gran éxito, como lo demuestra el aumento medio anual de la producción mundial de alimentos. Los progresos iniciales en el ámbito de la biología celular, seguidos por los avances en la biología molecular, han facilitado la aparición de una gama de nuevos procedimientos, comúnmente referidos como biotecnología de plantas. Estos avances, en lugar de meramente sustituir los métodos convencionales de mejora, han contribuido a potenciar su desarrollo y a expandir sus aplicaciones potenciales.

Beneficios de la biotecnología vegetal:

En el Ecuador, la biotecnología puede intervenir en procesos de determinación de la huella genética de nuevos materiales mejorados y garantizar su propiedad intelectual.

A pesar de los avances veloces en la biotecnología agrícola, también conocida como biotecnología verde, se vislumbra un desafío considerable y un proceso detenido para muchos cultivos en lograr metas como la creación de plantas resistentes a diversas plagas y con resistencia a herbicidas, la prevención de la degradación poscosecha, el desarrollo de tolerancia a la sequía y suelos salinos, el aumento de la producción agrícola y la mejora de la calidad de los alimentos.

Dada la significativa relevancia económica de los cultivos y la diversidad de cultivares a escala global, se han concebido diversas estrategias biotecnológicas con el propósito de optimizar el mejoramiento genético. Estas estrategias buscan incrementar la productividad, conferir resistencia y mejorar la calidad de los cultivos, permitiendo así su mayor disponibilidad en el mercado y su consumo por parte de la población.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Indudablemente, la implementación de técnicas convencionales en la mejora genética de las plantas, tales como la utilización de cultivos de tejidos, ha evidenciado un notable rendimiento, como se ilustra en el incremento anual promedio de la producción global de alimentos. Los avances iniciales en el campo de la biología celular, junto con los avances posteriores en la biología molecular, han allanado el camino para el desarrollo de un espectro de técnicas novedosas, comúnmente conocidas como biotecnología vegetal. En lugar de simplemente reemplazar los métodos de mejora convencionales, estos avances han facilitado su progreso y ampliado sus aplicaciones potenciales, como señalan Lizarazo *et al.* (2020) quienes

señalan que la biotecnología es un concepto multifacético y dinámico, cuya definición evoluciona de acuerdo a diversos grupos de interés y entornos particulares. Desde un punto de vista, es factible concebir esta disciplina como un campo científico aplicado, a la par que, desde un enfoque contrastante, se visualiza como una expresión de la biología moderna dentro del contexto empresarial de productos y servicios. De manera general, la biotecnología denota el grupo de metodologías que utilizan organismos vivos o sus componentes para generar o alterar un producto, perfeccionar vegetales y animales, o criar microorganismos con fines específicos.

Aunque se han producido progresos significativos en el ámbito de la biotecnología agrícola, también denominada como biotecnología verde, se ha identificado un reto considerable y un estancamiento en el proceso para numerosos cultivos en la consecución de objetivos tales como la generación de plantas con resistencia a distintas plagas y herbicidas, la prevención de la degradación poscosecha, el desarrollo de capacidades de tolerancia a la sequía y a suelos salinos, el incremento de la productividad agrícola y la mejora de las propiedades nutricionales de los alimentos. Por consiguiente, según la afirmación de Vásquez (2018), en la actualidad, los avances en biotecnología engloban ventajas como la fortaleza ante enfermedades, la reducción del empleo de agentes químicos para combatir plagas, la mejora de la composición nutricional de los alimentos, la tolerancia ante herbicidas, el incremento en el rendimiento de los cultivos, así como progresos en la apariencia sensorial y la calidad organoléptica.

Ecuador todavía no ha incorporado en su totalidad algunas tecnologías biotecnológicas que podrían incrementar la eficiencia de la producción agrícola y, por ende, suplir la creciente demanda de alimentos en el país. Esto respalda la afirmación de Bravo y León (2015) acerca de la restricción vigente en Ecuador que impide el cultivo y uso de semillas genéticamente modificadas, de acuerdo con las directrices de las entidades regulatorias locales, las cuales prohíben la siembra de semillas transgénicas o la expansión de material genéticamente modificado en áreas específicas destinadas a la producción agrícola.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

La propagación in vitro de plantas ha facilitado la adquisición de habilidades prácticas esenciales para el desempeño de un biólogo en un entorno profesional centrado en la biotecnología vegetal.

Biología engloba una diversidad extensa de metodologías, siendo el cultivo de tejidos vegetales la más destacada en nuestra nación. Este proceso comienza con la identificación y selección de tejidos vegetales en el campo, seguida de la propagación clonal in vitro de plantas que exhiben rasgos superiores, preservando así su calidad y salud vegetativa.

La biología vegetal abarca la utilización de avances científicos y tecnológicos en la manipulación de plantas, destinados a mejorar la producción de cultivos mediante el cultivo de genotipos adaptados y la integración de rasgos valiosos. Esto se logra mediante la exploración de aplicaciones novedosas y la expansión del conocimiento genético, utilizando una amplia gama de técnicas como el mejoramiento clásico, la citogenética, la genética molecular, los recursos fitogenéticos, el mapeo genético, la transcriptómica, la transgénesis y la interferencia de ARN.

El empleo de técnicas biológicas en el Ecuador resulta ventajoso por sus contribuciones a la mejora de los cultivares, destacando el caso del banano, principal producto de exportación.

En nuestro país la biología vegetal mejora la resistencia de la planta a plagas y enfermedades, reduciendo así la cantidad de fitosanitarios que emplear. Permite la creación de variedades que soportan el uso de herbicidas, facilitando el control de malas hierbas en grandes extensiones de cultivo.

3.2. RECOMENDACIONES

- Implementar técnicas biotecnológicas actualizadas, con la finalidad de obtener vegetales resistentes a plagas, enfermedades, sequía y con excelente producción.

- Que los organismos gubernamentales apoyen al desarrollo de los diferentes procesos y técnicas biotecnológicas en beneficio del país.

- Incentivar a los agricultores a utilizar materiales resistentes y con buenos rendimientos.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albán, M.G., Zambrano, J. L., Caviedes, G. M., Carvajal, F. (Ed.) 2023. Memorias del II Simposio Ecuatoriano del Maíz Ciencia, Tecnología e Innovación. Archivos Académicos USFQ, 49, 1–63. Disponible en <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivosacademicos/article/view/3109/3460>
- Alcantara-Cortes, Johan Steven, Acero Godoy, Jovanna, Alcántara Cortés, Jonathan David, & Sánchez Mora, Ruth Melida. 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. Retrieved January 17, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&tlng=es.
- Almeida, I. B. P. (2019). Aportes de la biotecnología al mejoramiento del arroz en Ecuador. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 6(5), 1-22. Disponible en <https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/ecociencia/article/view/225>
- Álvarez Morales, J. J. 2023. *Obtención y caracterización de celulosa bacteriana producida por cepas acéticas endémicas del Ecuador* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Biotecnología). Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/39244>
- Aparicio Moreno, R. 2021. Aplicaciones de la tecnología CRISPR-Cas en agricultura y biotecnología vegetal. Disponible en <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/13722/APARICIO%20MORENO,%20RAFAEL.pdf?sequence=1>
- Arellano, A. C., Korneva, S. B., Fischer, F. C., Cabanilla, L., Tola, N., Ochoa, A., Pincay, A. 2009. Micropropagación de caña de azúcar en Ecuador. *Biotecnología Vegetal*, 9(4). Disponible en <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/327/301>
- Bravo, E., & León, X. 2015. Monitoreo participativo del maíz ecuatoriano para detectar

- la presencia de proteínas transgénicas. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 17(1), 16-24. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6813641>
- Castañeda, J. S. 2017. Mercado de productos agrícolas ecológicos en Colombia. *Suma de negocios*, 8(18), 156-163. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215910X1730023X>
- Catalá, R. 2021. La biotecnología vegetal en la lucha contra el cambio climático. Disponible en https://digital.csic.es/bitstream/10261/249828/1/Newsletter%203_Catal%C3%A1_2021.pdf
- Companioni González, Barbarita, Domínguez Arizmendi, Grisel, & García Velasco, Rómulo. 2019. Trichoderma: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Biotecnología Vegetal*, 19(4), 237-248. Epub 01 de diciembre de 2019. Recuperado en 17 de enero de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472019000400237&lng=es&tlng=es.
- Cruz Rosero, N., Morante Carriel, J., Carranza Patiño, M. 2021. BIOTECNOLOGIA DE PLANTAS Aplicaciones en Ecuador. Disponible en <https://acortar.link/M5lBeZ>
- Chaves, J. P. 2021. Biotecnología vegetal: mejoramiento de cultivos ante el cambio climático. *Investiga. TEC*, 14(42), 3-5. Disponible en https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/5985/5716
- Chile Miranda, Sebastián Andrés (2020). Adaptación del sistema CRISPR /Cas9 para edición genética en el microorganismo no modelo burkholderia sacchari. Carrera de Ingeniería en Biotecnología. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Matriz Sangolquí. Disponible en <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/23026>
- Farah Asang, S. 2020. *Biotecnología: Plantas transgénicas como táctica en el desarrollo de la agricultura sustentable* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020). Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8513>
- Fernández, M. 2023. efecto de fitorreguladores en la callogénesis de flores de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad nacional, en Milagro-Guayas. Disponible en

- <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/FERNANDEZ%20BARCO%20MANUEL%20ANTONY.pdf>
- Guisbert, P. 2020. *Instituto Nacional de Biotecnología Vegetal, Ciencia y Tecnología en Plantas-Macro Distrito Sur, ciudad de La Paz* (Doctoral dissertation). Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/27579>
- Herrera-Estrella, L., & Trujillo, M. M. 2007. Plantas transgénicas. Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna, 167-193. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=223992>
- Indacochea, B., Castro, C., Marcillo, C., Ayón, F., Indacochea, J., Parrales, J., ... & Alvarez, S. 2020. Contribuciones de la UNESUM a la biotecnología vegetal. Disponible en <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2063/1/Contribuciones%20UNESUM%20a%20la%20Biotecnologia%20Vegetal.pdf>
- INIAP. 2024. INIAP implementa tecnología del cultivo de anteras en el mejoramiento del arroz. Disponible en <https://www.iniap.gob.ec/iniap-implementa-tecnologia-del-cultivo-de-anteras-en-el-mejoramiento-del-arroz/>
- Instituto para el Desarrollo Rural de Sudamérica. (IPDRS) 2015. Ecuador: La situación de los transgénicos. Disponible en <https://www.sudamericarural.org/noticias-ecuador/que-pasa/4174-ecuador-la-situacion-de-los-transgenicos>
- Jimí, A., Ganchozo, B. A. Z., Ganchozo, B. S. I., & Rodríguez, M. P. R. 2017. Protocolos de desinfección de explantes durante la micropropagación de *Cedrela odorata* L. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 1(2), 01-06. Disponible en <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unsumciencias/article/view/14/15>
- João, A. A., Ferreira, L. F. M., Corrêa, P. H. F., Luiz, R. D. C. P., & de Oliveira Neto, S. S. 2021. Biotecnologia vegetal 4.0: uma abordagem sobre “Speed Breeding”. *Research, Society and Development*, 10(12), e87101220120-e87101220120. Disponible en <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20120/18009>
- Lizarazo, J. C. F., Robayo, D. E. R., & Rubio, J. 2020. Utopía, de la mano con la ciencia, biotecnología e innovación. *Revista de la Universidad de La Salle*, 83,

- 163-180. Disponible en https://web.archive.org/web/20210428084917id_/https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2311&context=ruls
- Minchala Maurat, E. G., & Tacuri Ochoa, C. E. 2023. *Determinación por taxonomía molecular de hongos contaminantes persistentes en el laboratorio de Biotecnología Vegetal* (Bachelor's thesis). Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25580/1/UPS-CT010707.pdf>
- Morais-de-Carvalho-Castiglioni, J., Dos Santos, N., & Amat Llombart, P. 2016. Protección jurídica de la materia biológica vegetal. Transgénicos, patentes y obtenciones vegetales. *Opinión Jurídica*, 15(30), 145-168. Disponible en <https://riunet.upv.es/handle/10251/112399>
- Ortega–Ante, D. 2020. Enfoque de la Biotecnología Industrial en Ecuador y la Provincia de Esmeraldas. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(8), 1219-1227. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7554325>
- Pérez Chaves, J. 2021. Biotecnología vegetal: mejoramiento de cultivos ante el cambio climático. *Investiga. TEC*, 14(42), 3-5. Disponible en https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/5985/5716
- Quiñones, M., Vega, A., Martínez, Y., Rodríguez, E. 2017. Estrategias de ingeniería genética para la obtención de plantas transgénicas resistentes a geminivirus. Experiencia del Censa. La Habana. *Rev. Protección Veg*, 22(2). Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522007000200001&script=sci_arttext&tlng=pt
- Rayas Cabrera, Aymé, López Torres, Jorge, Medero Vega, Víctor R, Basail Pérez, Milagros, Santos Pino, Arletys, & Gutiérrez Sánchez, Yenisey. 2019. Conservación in vitro de cultivares de *Ipomoea batatas* (L.) Lam por crecimiento mínimo con el uso de manitol. *Biotecnología Vegetal*, 19(1), 43-51. Recuperado en 17 de enero de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472019000100043&lng=es&tlng=es.
- Roura Cadena, A. 2022. La biotecnología como herramienta para la conservación de

los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en Ecuador. Disponible en https://agroavances.com/img/publicacion_documentos/01_Roura_Alberto_Consejacion.pdf

Sabogal Rubio, C. A. 2022. Pasantía en procesos de propagación in vitro en la unidad de biotecnología vegetal de la Universidad CES. Disponible en <https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/7212/Pasant%c3%ada%20en%20procesos%20de%20propagaci%3%b3n%20in%20vitro%20en%20la%20unidad%20de%20biotecnolog%c3%ada%20vegetal%20de%20la%20Universidad%20CES..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez-Cuevas, M. 2013. Biotecnología: Ventajas y desventajas para la agricultura. Revista UDO agrícola, 3(1), 1-11. Disponible en <https://acortar.link/xrUbuk>

Vásquez, G. R. 2018. Biotecnología: generalidades, riegos y beneficios. Disponible en <https://acortar.link/MgII74>

Villaseñor-Mir, H. E., Huerta-Espin, J., Rodríguez-García, M. F., Santa-Rosa, R. H., Espitia-Rangel, E., & Martínez-Cruz, E. 2021. Mejoramiento genético de avena en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (25), 21-25. Disponible en <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2808/4544>

4.2. ANEXOS



Técnicas biotecnológicas



Biotecnología vegetal