

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA



TEMA:

“ESTABLECIMIENTO DE UN BANCO DE GERMOPLASMA DE VARIEDADES DE *Coffea* spp. DE LA PARROQUIA DE APUELA, VALLE DE INTAG”.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología

AUTOR:

Edwin Julián Tituaña Solano

DIRECTORA

Ing. Tania Salomé Sulca Villamarín PhD.

Ibarra, 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004701452		
APELLIDOS Y NOMBRES:	TITUAÑA SOLANO EDWIN JULIÁN		
DIRECCIÓN:	ATUNTAQUI, ANDRADE MARÍN		
EMAIL:	ejituanas@utn.edu.ec escorpio098@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	(062) 530 177	TELÉFONO MOVIL:	0960806460

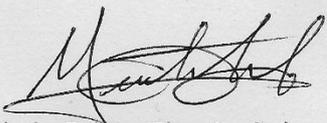
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Establecimiento de un banco de germoplasma de variedades de <i>Coffea</i> spp. de la parroquia de Apuela, valle de Intag.
AUTOR:	TITUAÑA SOLANO EDWIN JULIÁN
FECHA (AAAA/MM/DD):	29/01/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Biotecnología
DIRECTORA:	Ing. Tania Salomé Sulca Villamarín PhD.

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, EDWIN JULIÁN TITUAÑA SOLANO, con cédula de identidad Nro. 1004701452, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 29 días del mes de enero de 2025.

EL AUTOR:

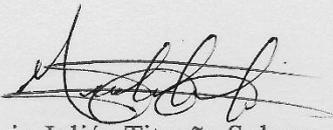
(f): 
Edwin Julián Tituaña Solano

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de enero de 2025.

EL AUTOR:

(f): 
Edwin Julián Tituaña Solano

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 29 de enero de 2025.

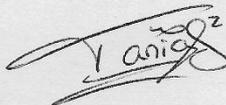
Ing. Tania Salomé Sulca Villamarín PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el informe final del trabajo de Integración Curricular, que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f):

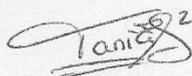


Ing. Tania Salomé Sulca Villamarín PhD.

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ESTABLECIMIENTO DE UN BANCO DE GERMOPLASMA DE VARIEDADES DE *Coffea* spp. DE LA PARROQUIA DE APUELA, VALLE DE INTAG” elaborado por EDWIN JULIÁN TITUAÑA SOLANO, previo a la obtención del título de INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):



Ing. Tania Salomé Sulca Villamarín PhD.

C.I: 1719083717.

(f):



Ing. Sania Miroslava Ortega Andrade MSc.

C.I: 1002631677

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por el apoyo brindado durante todo mi trayecto universitario, especialmente a mis padres por creer en mí y darme siempre las palabras de aliento necesarias para seguir adelante, aún en tiempos difíciles.

A mi tutora PhD. Tania Sulca, por su acompañamiento y por compartir sus conocimientos en todo momento, gracias a lo cual se pudo realizar este trabajo de la mejor forma. Asimismo, a mi asesora MSc. Sania Ortega, por su compromiso y dedicación, ya que, debido a sus enseñanzas, así como la de todos los docentes de la carrera, logramos llegar hasta este punto de nuestras vidas.

RESUMEN

En la última década el consumo mundial de café y sus derivados registró un aumento aproximado del 21%, demanda que es cubierta por dos especies, *Coffea robusta* y *Coffea arabica*, esta última preferida por su calidad. No obstante, la situación ambiental actual, uso de cultivares mejorados y otros factores están provocando el desplazamiento de variedades tradicionales de importancia cultural, ambiental y científica. La pérdida de este material fitogenético amenaza la diversidad de especies en ecosistemas naturales y agrícolas, limitando el desarrollo del café de subsistencia futuro. La conservación *in vitro* de germoplasma permite el resguardo y accesibilidad de recursos genéticos en distintas etapas de desarrollo y en este estudio, esta técnica se empleó para conservar ejemplares de café cultivados por los productores de la Asociación Agro artesanal de Caficultores Río Intag (AACRI), en Apuela, valle de Intag, cantón Cotacachi. Para ello, mediante una encuesta en campo se identificaron las variedades: Caturra roja, Caturra amarilla, Colombia, Típica mejorada y Típica nacional, de las cuales solo dos (Colombia y Caturra roja) se conservaron con éxito. Durante la fase experimental, el tratamiento de desinfección (P8) fue el mejor para ambas variedades ($p < 0,006$ y $p < 0,003$), logrando un 58% y 65% de efectividad respectivamente. Por otro lado, en la etapa de generación de callos embriogénicos, F4 logró el 75% de formación en Colombia y el peso seco promedio fue de 35,2 mg ($p < 0,02$), mientras que F6 logró un 73,3% en Caturra roja con 4,6 mg ($p > 0,17$). En los cultivos en suspensión, M1 fue el más adecuado con ambas variedades, generando células disgregadas que se mantuvieron viables durante todo el periodo establecido. Por último, el trabajo conjunto con los caficultores de la localidad y tomando en cuenta las condiciones ambientales y ecológicas de la zona y su influencia en la productividad, así como el estado de las plantaciones, se pudo elaborar un manual de manejo agronómico del café, que contribuirá al desarrollo local y conservación del germoplasma de la región.

Palabras clave: *Coffea* sp., variedades, Apuela, cambio climático, conservación, *in vitro*.

ABSTRACT

In the last decade the world consumption of coffee and its derivatives registered an approximate increase of 21%, demand that is covered by two species: *Coffea robusta* and *Coffea arabica*, the latter preferred for its quality. However, the current environmental situation, the use of improved cultivars and other factors are causing the displacement of traditional varieties of cultural, environmental and scientific importance. The loss of this phylogenetic material threatens the diversity of species in natural and agricultural ecosystems, limiting the development of future subsistence coffee. The *in vitro* conservation of germplasm allows the safeguarding and accessibility of genetic resources at different stages of development and in this study, this technique was used to conserve the coffee specimens cultivated by the producers of the Asociación Agro artesanal de Caficultores Río Intag (AACRI), in Apuela, Intag Valley, Cotacachi canton. For this purpose, a field survey was conducted to identify the varieties: Caturra roja, Caturra amarilla, Colombia, Típica mejorada and Típica nacional, of which only two (Colombia and Caturra roja) were successfully conserved. During the experimental phase, the disinfection treatment (P8) was the best for both varieties ($p < 0.006$ and $p < 0.003$), achieving 58% and 65% effectiveness respectively. On the other hand, in the embryogenic callus generation stage, F4 achieved 75% formation in Colombia and the average dry weight was 35.2 mg ($p < 0.02$), while F6 achieved 73.3% in red Caturra with 4.6 mg ($p > 0.17$). In suspension culture, M1 was the most suitable with both varieties, generating disaggregated cells that remained viable throughout the established period. Finally, working together with local coffee growers and considering the environmental and ecological conditions of the area and their influence on productivity, as well as the state of the plantations, it was possible to prepare a manual for agronomic management of coffee, which will contribute to local development and conservation of the region's germplasm.

Key words: *Coffea* sp., varieties, Apuela, climate change, preservation, *in vitro*.

Lista de siglas

INIAP. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

AACRI. Asociación Agro artesanal de Caficultores Río Intag.

MAG. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.

COA. Código Orgánico Ambiental del Ecuador.

SNAP. Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

MAE. Ministerio del Ambiente del Ecuador.

CIBE. Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador.

APCI. Asociación de Productores de Café de Intag.

RAPCI. Red Asociativa de Productores de Café de Imbabura.

PROCAP. Asociación de Productores de Café de Altura Puyango.

APECAM. Asociación de Cafetaleros de Marcabelí.

APECAEL. Asociación Agro artesanal de Pequeños Productores de Café Especial del Cantón Loja.

PROCAFEQ. Asociación de Productores de Café Altura de Espíndola y Quilanga.

APECAP. Asociación de Cafetaleros Ecológicos de Palanda.

ACEDE. Asociación de Cafés Especiales del Ecuador.

APACCH. Asociación de Productores Agropecuarios del cantón Chaguarpamba.

FAPECAFES. Federación Regional de Asociaciones de Pequeños Cafetaleros Ecológicos del Sur del Ecuador.

ASOSUMACO. Asociación de Producción Agropecuaria de Café Sumaco.

Índice de contenidos

AGRADECIMIENTO	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
Lista de siglas	10
Índice de tablas	13
Índice de figuras	14
Índice de anexos	15
CAPÍTULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1. Problema de Investigación	16
1.2. Justificación	17
1.3. Objetivos	18
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	18
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	18
1.4. Pregunta de Investigación	18
1.5. Marco legal	18
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. Características generales del género Coffea	20
2.1.1. <i>El café arábigo (C. arabica)</i>	20
2.2. Importancia del café	22
2.3. Factores que amenazan los recursos genéticos de café	23
2.3.1. <i>Roya de cafeto (H. vastratrix)</i>	24
2.3.2. <i>La broca del café (Hypothenemus hampei)</i>	24
2.3.3. <i>Nemátodos fitoparásitos</i>	24
2.4. Afectaciones del cambio climático	25
2.5. Conservación de germoplasma	25
2.5.1. <i>Conservación in situ</i>	26
2.5.2. <i>Conservación ex situ</i>	28
2.6. La caficultura en el Ecuador	29
2.6.1. <i>Cultivo de café en Ecuador y el valle de Intag</i>	30
CAPÍTULO III	31

METODOLOGÍA.....	31
3.1. Caracterización del área de estudio.....	31
3.3. Recolección de información de manejo agronómico del café de Apuela.....	32
3.4. Preparación de medio y desinfección de explantes.....	32
3.5. Obtención de explantes y siembra.	34
3.6. Establecimiento de las variedades de mejor respuesta.	34
3.7. Formación de callos embriogénicos.	35
3.8. Establecimiento de suspensiones celulares.....	36
3.9. Elaboración de un manual de manejo agronómico.....	37
3.10. Análisis estadístico.....	38
3.10.1. <i>Desinfección</i>	38
3.10.2. <i>Formación de callos de células indiferenciadas.</i>	39
3.10.3. <i>Establecimiento de suspensiones celulares.</i>	39
3.10.4. <i>Elaboración del manual de manejo agronómico de café.</i>	39
CAPÍTULO IV	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Desinfección.	40
4.2. Establecimiento de las variedades de mejor respuesta.	41
4.3. Formación de callos de células indiferenciadas.....	43
4.4. Establecimiento de suspensiones celulares.....	46
4.5. Manual de manejo agronómico de café.....	48
CAPÍTULO V	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1. Conclusiones.....	49
5.2. Recomendaciones.	49
Bibliografía.....	51
ANEXOS	66

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Características de las variedades de café arábigo</i> _____	21
Tabla 2. <i>Clasificación de áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad del Ecuador</i> _____	27
Tabla 3. <i>Tratamientos de desinfección</i> _____	33
Tabla 4. <i>Tratamientos con H₂O₂ usados en la desinfección de hojas de café</i> _____	35
Tabla 5. <i>Fitohormonas para la inducción de callo embriogénico</i> _____	35
Tabla 6. <i>Tratamientos para multiplicación de células de callos de café</i> _____	36
Tabla 7. <i>Términos de búsqueda bibliográfica</i> _____	37
Tabla 8. <i>Respuestas de los tratamientos en la formación de callos embriogénicos</i> _____	44

Índice de figuras

Figura 1 Estrategias de conservación de recursos naturales. _____	25
Figura 2 Método de conservación in vitro de tejido vegetal. _____	29
Figura 3 Método de recolección de muestras de hojas de café. _____	31
Figura 4 Vista satelital de la parroquia de Apuela, valle de Intag. _____	32
Figura 5 Etapas de desinfección de los tratamientos. _____	34
Figura 6 Contenido del manual de manejo agronómico de café. _____	38
Figura 7 Efecto de los tratamientos en la desinfección de muestras de hojas de las variedades. _____	41
Figura 8 Variedades de Coffea sp. (V1): Caturra amarilla, (V2): Bourbon, (V3): Típica, (V4): Colombia, (V5): Caturra roja _____	41
Figura 9 Efecto de la desinfección con H ₂ O ₂ en hojas de Coffea sp. var. Colombia (A) y C. roja (B) _____	42
Figura 10 Efecto de las diferentes concentraciones de H ₂ O ₂ sobre el estado de los explantes _____	43
Figura 11 Efecto de los tratamientos de multiplicación en células suspendidas de las variedades: A: Colombia-T1, B: Colombia-T2. _____	46
Figura 12 Curvas de crecimiento de las células en multiplicación _____	47

Índice de anexos

Anexo 1 <i>Análisis de la varianza para “tratamientos” con H₂O₂, variedad Colombia.</i>	66
Anexo 2 <i>Análisis de la varianza para “tratamientos” con H₂O₂, variedad C. roja</i>	66
Anexo 3 <i>Análisis de la varianza para “explantes sanos”, variedad Colombia</i>	66
Anexo 4 <i>Análisis de la varianza para “explantes sanos”, variedad C. roja.....</i>	66
Anexo 5 <i>Análisis de la varianza para “explantes fenolizados”, variedad Colombia... </i>	67
Anexo 6 <i>Análisis de la varianza para “explantes fenolizados”, variedad C. roja.....</i>	67
Anexo 7 <i>Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes sanos”, Colombia.</i>	67
Anexo 8 <i>Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes sanos”, C. roja.....</i>	67
Anexo 9 <i>Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes fenolizados”, Colombia.</i>	68
Anexo 10 <i>Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes fenolizados”, C. roja.</i>	68
Anexo 11 <i>Comparaciones ortogonales para tiempo de exposición en “explantes fenolizados”, Colombia.</i>	68
Anexo 12 <i>Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes fenolizados”, C. roja</i>	68
Anexo 13 <i>Valores del T de Student para muestras independientes con las variedades.</i>	68
Anexo 14 <i>Encuesta para la recolección de información de los productores de Apuela.</i>	69
Anexo 15 <i>Manual de manejo agronómico orgánico de café.</i>	71

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación.

La pérdida de riqueza genética pone en riesgo la permanencia y evolución de las especies vegetales, sean estas silvestres o de la agrobiodiversidad. El aumento de perturbaciones ambientales y antropogénicas, así como el uso no sostenible de los recursos genéticos son las principales causas de degradación de los ecosistemas naturales. En el caso del café, las variedades tradicionales de interés socioeconómico son a menudo difíciles de mantener en cultivo, por lo que se estima que alrededor del 60% de las mismas están en peligro de desaparecer dentro de sus propios hábitats, lo que amenaza la preservación de los recursos genéticos (Gurr et al., 2004; Koutouleas et al., 2023; Krishnan, 2022; Salojärvi et al., 2024; Van der Vossen et al., 2015).

A pesar de los esfuerzos de conservación de recursos como medida preventiva frente a los efectos del cambio climático, la erosión genética sigue siendo un desafío para el café de subsistencia. En los últimos años, la ruptura de las capacidades de resistencia de las plantas aumentó la vulnerabilidad al ataque de enfermedades y plagas comunes, poniendo en riesgo a cultivares con escasa variabilidad entre poblaciones, como el café arábigo. Además, se han observado efectos adversos en la productividad de variedades más resistentes, como robusta. Este escenario extiende el uso de híbridos mejorados por parte de los caficultores, desplazando linajes clásicos como Típica y Bourbon, que ahora solo se encuentran en pocas regiones de América Latina (de Almeida et al., 2021; Jibat, 2020; Lin et al., 2008).

Ante esta situación, varios centros de investigación a escala global tratan de conservar germoplasma de variedades de café de regiones de interés, incluyendo bosques nativos. Sin embargo, las características recalcitrantes de las semillas hacen que métodos convencionales y prácticos como la crío preservación no sean adecuados en condiciones *ex situ*, mientras que *in situ* requiere muchos recursos para su mantenimiento. Esto dificulta la adición de accesiones de café en unidades que no cuentan con estrategias auxiliares eficaces, recursos o infraestructura. Para solventar esto, en Ecuador, las estaciones experimentales del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), junto con instituciones públicas y privadas, han desarrollado medidas para conservar recursos de interés agrícola y silvestre de las localidades más representativas

de las cuatro regiones del país, incluyendo café arábigo y robusta. No obstante, aún existen muchos sitios donde se practica la caficultura que aún no han sido estudiados para estos fines y que cuentan con recursos nativos importantes en peligro de desaparecer (Engelmann et al., 2007; Imarhiagbe et al., 2016; Alvear, 2021; Engelmann, 2012; INIAP, 2004).

Un ejemplo de lo descrito es la asociación AACRI, que es uno de los principales centros donde se cultiva café orgánico de altura en Imbabura, cuyo producto es reconocido en muchos mercados internacionales. No obstante, los problemas recurrentes en el mercado cafetero, así como aquellos vinculados a la agricultura, dificultan su mantenimiento y ocasionan el abandono de cultivos como ocurre en muchas otras regiones del país. Esta situación, junto a la introducción de cultivares mejorados en sistemas inestables a largo plazo y la falta de respaldos nativos, promueven la pérdida de los recursos fitogenéticos locales (AACRI, 2020; Bramel Paula et al., 2017; Navarrete Karla, 2014; Nigam & Singh, 2014).

1.2. Justificación.

Promover la protección y conservación de la agrobiodiversidad como patrimonio del pueblo ecuatoriano es clave para asegurar la disponibilidad de material genético competitivo, en conformidad con la Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria de la Constitución del Ecuador. Del mismo modo, proteger la integridad de la biodiversidad y el patrimonio genético del país es una responsabilidad de interés pública descrita en el Código Orgánico Ambiental del Ecuador (COA), sea de manera *in situ* o *ex situ* conforme a las características ecológicas y condición de las especies (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008, 2017; Naciones Unidas, 2015; Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992).

El mantenimiento de especies vegetales permite controlar la erosión de recursos fitogenéticos. El cultivo de tejidos *in vitro* es una técnica prometedora para mantener germoplasma de especies vegetales, resolviendo problemas de los métodos *in situ* sobre el uso de espacio y elevados costos. Además, este método proporciona acceso inmediato al material en estudio para su caracterización, evaluación y utilización, lo que permite conservar estructuras con un alto porcentaje de viabilidad y supervivencia en distintas etapas de desarrollo (Dulloo et al., 1998; Haque & Ghosh, 2014; Negash et al., 2001; Rojas-Vásquez et al., 2022).

El café en Ecuador ocupa gran porcentaje de áreas agro-productivas, con cultivos de pequeña y mediana escala que ocupan variedades de distintas características. Entre estas localidades se encuentra la parroquia de Apuela, ubicada en el valle de Intag, provincia de Imbabura, donde la riqueza genotípica local se encuentra protegida por familias caficultoras desde hace aproximadamente 25 años. En esta zona es posible encontrar ejemplares longevos en perfectas condiciones que son de importancia científica, económica y ambiental. Este proyecto identificará y describirá aquellas variedades encontradas en la parroquia, para establecer un banco de germoplasma *in vitro* como una forma de salvaguardar el patrimonio genético de la región y el país. Los resultados obtenidos servirán para garantizar la disponibilidad de recursos fitogenéticos de las especies, en futuros proyectos de investigación, fitomejoramiento y conservación (AACRI, 2020; Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020; Tesfaye et al., 2014).

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Generar un banco de germoplasma con variedades de *Coffea* spp. cultivadas por caficultores pertenecientes a la Asociación Agro-artesanal de Caficultores Río Intag de la parroquia de Apuela.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Obtener células indiferenciadas de las variedades de *Coffea* spp. en estudio.
- Establecer suspensiones celulares de las especies de café.
- Redactar un manual para el manejo de las variedades recolectadas.

1.4. Pregunta de Investigación.

¿Es posible mantener viable el germoplasma de diferentes variedades de café obtenido mediante organogénesis indirecta?

1.5. Marco legal.

Los enfoques de conservación integran sistemas sostenibles, resilientes e inclusivos, para promover el uso sustentable y eficiente de los recursos genéticos, así como generar información relevante para investigar, validar y promover selecciones genéticas con adaptaciones mejoradas a las condiciones agroclimáticas (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, n.d.)

En cuanto a la conservación de especies vegetales de interés comercial, la Constitución de la República del Ecuador señala, en su Art. 281, numerales: 6, 8 y 10, que se debe promover la preservación y recuperación de la agrobiodiversidad, así como la investigación científica y tecnológica enfocadas en garantizar la soberanía alimentaria, para fortalecer el desarrollo de organizaciones y redes de productores. Así mismo, el Art. 54 establece como un derecho común el mantener, proteger y generar conocimiento a partir de los recursos genéticos de la agrobiodiversidad (Legislativo, 2008).

La adquisición de recursos fitogenéticos para investigación debe regirse a lo estipulado en las normativas nacionales y locales, de conformidad con lo establecido en el Art. 6, párrafo 1 del Protocolo de Nagoya, referente a la emisión de un consentimiento fundamentado previo o acuerdo entre las Partes involucradas en el proceso, con miras en el cumplimiento de lo dispuesto en el Art. 5, que declara que los beneficios resultantes del uso de esos recursos deben ser compartidos justa y equitativamente entre las Partes (Naciones Unidas-PNUMA, 2011).

Esto se encuentra respaldado por lo dispuesto en el Art. 10, sección 10.2 del Tratado sobre los Recursos Fitogenéticos, referente al uso de recursos concedido bajo condiciones de conservación, mejoramiento y capacitación investigativa y agro productiva. Del mismo modo, sobre el manejo de las colecciones *ex situ*, el Art. 15, apartado d) establece que debe administrarse en cumplimiento de las Normas para Bancos de Germoplasma ratificadas por la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y Agricultura, y que la recolección de muestras debe realizarse previa solicitud, de conformidad con la legislación de manera gratuita, y en su defecto, sin superar costos mínimos correspondientes (Organización de las Naciones Unidas-FAO, 2004).

Por último, se declara que la realización de este trabajo, en concordancia con lo descrito anteriormente y con especial atención a los objetivos del Convenio Sobre la Diversidad Biológica enmarcados en su Art. 10 referentes a la conservación *ex situ*. Además, de las políticas del objetivo 3 del eje económico del plan nacional de desarrollo vigente, se encuentra lo suficientemente fundamentado y validado para llevarse a cabo dentro del marco legal establecido nacional e internacionalmente. Primando la atención a las necesidades actuales y en función de la problemática creciente sobre la disminución de la producción cafetalera de los últimos años por factores ambientales y biológicos (Gobierno del Ecuador, 2024; Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Características generales del género *Coffea*.

El género *Coffea* forma parte de la familia Rubiaceae y tiene cientos de ejemplares identificados, destacando *C. arabica* y *C. robusta* por su importancia socioeconómica a nivel mundial. Dependiendo de la especie, estas pueden desarrollarse en entornos con climas tropicales y subtropicales, que van desde los 400 hasta más de 1800 m.s.n.m. La temperatura puede variar entre los 18-25°C, con humedad relativa del 60-80%. En cuanto a sus características fenotípicas, estas son plantas perennes y leñosas que van desde 1 m hasta más de 2 m de altura. Sus inflorescencias son axilares y pareadas, de corolas ligeramente rosadas o blancas. Sus frutos son rojos brillantes cuando maduran, pero pueden variar entre cultivares y consta de dos semillas internas, que son procesadas para originar productos derivados del café (Herrera & Cortina, 2013; Patay et al., 2016).

De todas las especies registradas *C. arabica* es la única alotetraploide auto fértil ($2n = 4x = 44$) y se auto poliniza en casi un 80%, provocando que su acervo genético sea estrecho a diferencia de especies auto incompatibles. Por su parte, *C. canephora*, también conocida como *C. robusta*, tiene mucha variabilidad genética y está mejor adaptada en zonas tropicales bajas y medias, bordeando los 800-1000 m.s.n.m. En Ecuador, *C. robusta* representó cerca del 70% de la producción en las regiones Litoral y Amazonía en el año 2023 (De Castro & Marraccini, 2006; Fernández, 2017; Klein et al., 2003; Martins et al., 2019; Prakash et al., 2015).

2.1.1. El café arábigo (*C. arabica*)

Esta especie crece en regiones altas sobre los 1200 m.s.n.m. hasta más de 2000 m.s.n.m. Tiene amplios rangos de tolerancia térmica, que van desde los 10-32 °C. Su origen se atribuye a una hibridación natural ocurrida entre *C. canephora* y *C. eugenioides*, o ecotipos encontrados en África central, desde donde se presume se distribuyó por el mundo. Cubre alrededor del 60-70% de la demanda mundial de subproductos de café y los principales productores en la actualidad son América Latina y el este de África. Esta variedad es reconocida por la calidad superior de sus frutos, pero es extremadamente susceptible a los cambios de temperatura, sequías, plagas y enfermedades. Carece de variabilidad genética entre generaciones, lo cual limita su adaptación a condiciones adversas. Esta desventaja supone un riesgo potencial para los recursos fitogenéticos de

esta especie, por lo que constantemente se evalúan estrategias para su conservación y fitomejoramiento (Craparo et al., 2015; Krishnan, 2011; Velásquez, 2021).

En cuanto a producción, la industria latinoamericana sobresale a nivel mundial, siendo Brasil, Colombia, Honduras, México, Perú, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica, El Salvador, Venezuela y Ecuador, los principales productores registrados en el año 2023. Los países con mayor producción como Brasil, Colombia y Honduras ocupan métodos completamente industrializados, que les permite obtener grandes rendimientos con variedades seleccionadas localmente, como *C. arabica* var. Colombia, Castillo, Cenicafé 1 y Tabi, desarrolladas por Cenicafé en Colombia. No obstante, estas regiones no son reconocidas por originar café de excelencia. Esto debido a que los linajes clásicos que destacan por sus buenas cualidades organolépticas, como Típica y Bourbon, no pueden cultivarse con facilidad por su bajo rendimiento y alta vulnerabilidad, provocando que ahora solo se encuentren en pocas regiones del mundo (Asegid, 2020; Statista, 2024).

Sin embargo, el interés por obtener cultivares con mejores características llevó al desarrollo de nuevas variedades, por medio de cruces naturales o hibridaciones, capaces de soportar la infección de patógenos y plagas, a la vez que conservan la calidad de granos de sus parientes arábigos. La tabla 1 muestra las variedades de café arábigo producidas en América Latina como resultado de la selección durante varias generaciones, así como sus características productivas y de resistencia (Shigueoka et al., 2014; World Coffee Research, 2024).

Tabla 1

Características de las variedades de café arábigo.

Variedad	Roya	Nemátodos	Antracnosis del cerezo	Rend.	Calidad
Anacafé 14	r	s	s	a	b
Batian	t	s	r	a	m.b
Bourbon	s	s	s	m	m.b
Bourbon Mayaguez 139	s	d	s	a	m.b
Bourbon Mayaguez 71	s	d	s	m	b
Caripe (Criollo Cogollo Verde)	s	s	s	m	m.b
Casiopea	s	s	s	a	e
Catimor 129 (Cat129, Nyika)	r	s	r	m.a	b
Catisic (Catimor)	r	s	s	a	bajo
Catuái	s	s	s	b	b
Caturra	s	s	s	b	b
Centroamericano (H1)	r	s	t	m.a	m.b
Costa rica 95 (Catimor)	s	s	s	a	bajo
Cuscatleco (Sarchimor)	r	r	d	b	b

Esperanza (L4 A5)	t	t	t	m.a	m.b
Evaluna (EC18)	s	s	t	a	m.b
Frontón (Catimor)	r	d	d	b	b
Geisha (Panama)	t	s	s	m	e
H3	s	s	s	a	m.b
Harar Rwanda	s	d	s	a	m.b
IAPAR 59 (Sarchimor)	r	r	s	b	bajo
IHCAFE 90 (Catimor)	s	s	s	a	bajo
Jackson 2/1257	s	d	s	a	b
Java	t	s	t	m	m.b
K7	t	s	t	a	b
KP423	t	s	s	a	bajo
Típica	s	s	s	b	m.b
Venecia	s	s	s	b	b
Colombia	r	r	t	b	b
Villa Sarchí	s	s	s	b	b
Lempira (Catimor)	s	s	s	a	b
Limaní (Sarchimor)	r	d	d	b	b
Maragogipe	s	s	s	b	m.b
Marsellesa (Sarchimor)	r	s	t	a	b
Mibiriszi	s	d	s	b	e
Milenio (H10)	r	s	t	m.a	m.b
Mundo Maya (EC16)	r	r	t	a	m.b
Mundo Novo	s	s	s	a	b
Mayarita (EC19)	s	s	t	a	m.b
Nemaya (Portainjerto)	-	r	-	-	-
Nyasaland (Bugiso local)	s	d	s	b	b
Obatá rojo (Sarchimor)	r	d	d	a	b
Oro Azteca (Catimor)	r	s	s	a	b
Pacamara	s	s	s	b	e
Pacas	s	s	s	b	b
Pache	s	s	s	m	b
Parainema (Sarchimor)	r	r	t	b	b
Pop3303/21	r	d	t	a	b
RAB C15	r	d	r	m.a	m.b
Ruiru 11	t	s	r	m.a	b
SL14	s	s	s	a	b
SL28	s	s	s	m.a	e
SL34	s	s	s	a	e
Starmaya	r	d	d	a	m.b
T5175 (Catimor)	r	s	s	a	m.b
T5296 (Sarchimor)	r	d	t	m.b	b
T8667 (Catimor)	r	s	s	a	b
Tekisic	s	s	s	m	m.b

Nota: Esta tabla muestra los perfiles de resistencia de las variedades de café arábigo más ocurrentes en cultivos a nivel de Latinoamérica, ante las principales plagas y enfermedades, así como su rendimiento y calidad de grano. (r): resistente, (s): susceptible, (t): tolerante, (d): desconocido, (m.a.): muy alto, (a): alto; (m): medio, (b): bueno, (m.b.): muy bueno, (e): excepcional, (bajo).

2.2. Importancia del café.

A nivel económico, el café constituye la principal fuente de desarrollo para cerca de 20 millones de familias en más de 50 países que lo cultivan, procesan, distribuyen y comercializan, ya que diariamente se consumen alrededor de 2200 millones de tasas y se debe cubrir una demanda creciente cada año. Se conoce su influencia por ser uno de los

productos más comercializados en el mundo, pero su permanencia está amenazada por la inestabilidad de su mercado, con precios de exportación-importación muy volátiles. A pesar de ello, la investigación para la creación de productos derivados aún es importante en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Por su parte, el estudio de su germoplasma sigue siendo poco explorado en muchas regiones, pese a la necesidad de crear estrategias que mejoren la producción y den solución a los problemas actuales (Davis et al., 2007; Organización Internacional de Café, 2016; Patay et al., 2016; Van der Vossen et al., 2015).

En el ámbito social, el café es componente integral para el desarrollo de vida de trabajadores, asociados y sus familias, muchas de las cuales habitan en zonas rurales. Su importancia económica es marcada, pero sus beneficios socioculturales son poco conocidos. Desde el inicio, las sociedades cafeteras lo consideraban una fuente de medicina, elemento clave de celebración, plataforma de interacción social, medio para resolver conflictos, herencia patrimonial y catalizador de la conservación de ecosistemas. Las variedades tradicionales son apreciadas, porque en algunas culturas aún forman parte de estas actividades (Bulitta & Duguma, 2021; Harahap & Humaizi, 2019).

En cuanto a la importancia ambiental, el manejo del café en sistemas agroforestales contribuye al mantenimiento de especies de flora y fauna representativa de las regiones, captura de carbono en el suelo y equilibrio hídrico de los ecosistemas. Las variedades actuales provienen de bosques que albergan el acervo genético natural del género, considerados como la salvaguarda que asegurará la producción de subsistencia. Por esta razón, entender su composición genética es clave para crear enfoques de mejoramiento, que impulsen la industria de café sostenible en años venideros (Albrecht & Kandji, 2003; Gakuo, 2022; Gole et al., 2008).

2.3. Factores que amenazan los recursos genéticos de café.

Ponen en riesgo la integridad de los recursos y promueven su erosión. Comprenden en este aspecto la presión de la población humana y el cambio climático, que en los últimos años modificaron los patrones de cultivo y provocaron un aumento en la propagación de plagas y enfermedades. No obstante, a partir del descubrimiento del híbrido de Timor (hibridación natural entre la variedad Típica de *C. arabica* y Robusta de *C. canephora*) se comenzó a establecer la base del mejoramiento convencional, con el cual se desarrollaron cultivares capaces de responder a las necesidades de los caficultores, principalmente

relacionados con la resistencia al patógeno de la Roya (*Hemileia vastatrix*) en *C. arabica*. Sin embargo, en la actualidad el uso de cultivares resistentes en prácticas de monocultivo está provocando que la resistencia genética desarrollada en las plantas de café se vulnere por la adaptación y evolución obligada de los patógenos (Bramel Paula et al., 2017; Gole et al., 2002).

2.3.1. *Roya de cafeto (H. vastratrix).*

Es la especie fúngica más investigada, por causar dos epidemias devastadoras que terminaron con plantaciones de forma definitiva. Se cree que su distribución está ligada al traslado de especies vegetales entre países, llegando a extenderse por todas las regiones del mundo donde se cultiva café. En la actualidad, la incidencia de esta enfermedad aumentó por las alteraciones en las condiciones climáticas, especialmente en linajes de café arábigo extremadamente susceptibles, como Típica y Bourbon. Estas variedades reconocidas por la calidad de sus granos aún prevalecen en algunos países de América Latina, mientras que en otros fueron totalmente reemplazados por híbridos resistentes como medida para combatir la Roya (Arneson, 2015; Bucardo, 2015; Sabogal, 2024).

2.3.2. *La broca del café (Hypothenemus hampei).*

Es una plaga directa del género y limitante en la producción, distribuida mundialmente en todo el rango altitudinal de las zonas cafeteras. Afecta en el rendimiento y se estima que genera pérdidas en el mercado aproximadas de \$500 millones cada año. Su desarrollo depende de la temperatura y humedad del entorno, incrementándose en los últimos años por las variaciones ambientales. Además, la susceptibilidad al ataque en las plantas a menudo puede estar relacionada con la altitud en la que se encuentran. Por esta razón se cree que el desplazamiento de territorios de cultivo hacia sitios de mayor altitud, por efectos del cambio climático, provoque la adaptación de la Broca en sitios donde anteriormente la infestación era muy baja, es decir, sobre los 1700 m.s.n.m. Actualmente, la broca se encuentra presente en 19 países de América Latina, incluyendo Brasil, Colombia y Ecuador, además de otros 60 alrededor del mundo (Alfaro et al., 2019; Barrera, 2023; Benavides et al., 2013; Lezaun, 2016).

2.3.3. *Nemátodos fitoparásitos.*

Los nemátodos ocupan el tercer lugar de plagas devastadoras del café, atacando la raíz principal y provocando necrosis, así como amarillamiento y marchitamiento de hojas con posterior defoliación por falta de nutrientes. Las poblaciones de mayor importancia a

nivel mundial corresponden a: *Pratylenchus coffeae*, *Meloidogyne* sp., *Radopholus similis*, *Rotylechulus reniformis* y *Xiphinema americanum*, cuya dinámica está en aumento por las variaciones climáticas. Los síntomas de infección en las raíces varían dependiendo del patógeno presente. Las estrategias para combatirlos incluyen el uso de nematicidas-insecticidas, control biológico con *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., así como porta injertos de café canéfora y optimización tradicional de variedades. El fitomejoramiento también es una alternativa eficiente para desarrollar cultivares resistentes a la infección por nemátodos, sea por métodos de hibridación o selección (Davis et al., 2019; Myers et al., 2023; Piaggua, 2023).

2.4. Afectaciones del cambio climático.

El aumento en la variabilidad de la temperatura y precipitaciones, así como condiciones climáticas extremas más frecuentes afectan la calidad y productividad del café, poniendo en riesgo la biodiversidad y ecosistemas subyacentes. El café arábigo es más vulnerable, con una tendencia de reducción del 65% de las superficies bioclimáticamente compatibles en los próximos años, es decir, sitios para la conservación *in situ* de sus recursos genéticos. Por otro lado, robusta registra cambios significativos en su productividad durante la transición ambiental, pero es más tolerante a las condiciones adversas. La mayor preocupación para ambas especies es el aumento en la incidencia de enfermedades y plagas, debido a las alteraciones ambientales, que pueden dar lugar a continuas crisis sistémicas. En este aspecto, América Latina puede ser una de las principales zonas afectadas, debido a sequías severas que se están presentando en varias regiones cafetaleras y que ponen en riesgo el mantenimiento de la diversidad de especies locales (S. Ahmed et al., 2021; Asegid, 2020; Davis et al., 2012; Ebisa, 2017).

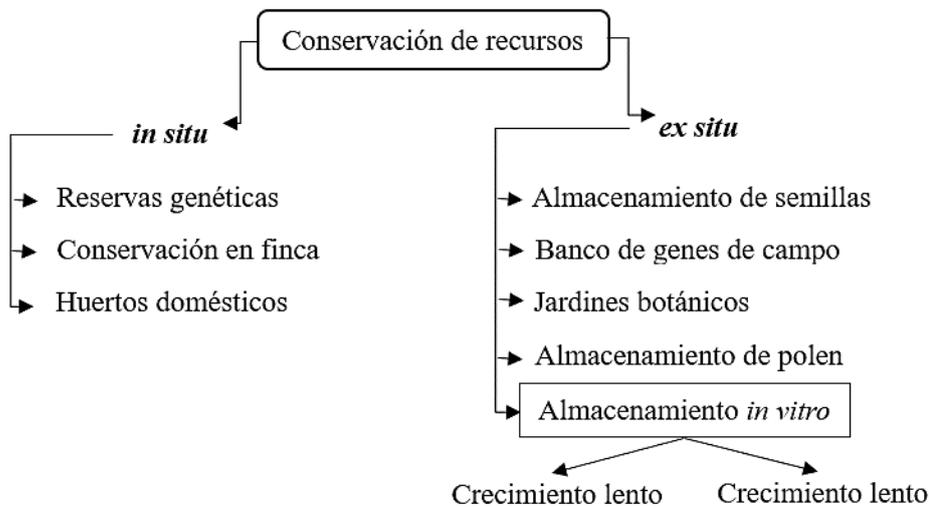
2.5. Conservación de germoplasma.

El germoplasma vegetal son los recursos fitogenéticos como: plantas, semillas, hojas, tallos, polen y cultivos celulares que permiten el estudio, mantenimiento, producción o selección de ejemplares deseados. Un banco de germoplasma mantiene los recursos de especies silvestres, extintas, y demás que la intervención humana y cambio climático están llevando a la desaparición. La importancia de conservar germoplasma radica en que las variedades, a menudo, tienen características distintivas en su genoma, resultado de un proceso de adaptación a su entorno, cruzamientos naturales o artificiales, selecciones y mutaciones que les permitieron perdurar en el tiempo. Sin embargo, la adaptación de las

especies en condiciones o sitios determinados, así como requerimientos específicos, en ocasiones dificultan la aplicación generalizada de estrategias. Por este motivo, se desarrollaron diferentes enfoques de conservación con el fin de resolver inconvenientes como los presentados con plantas de reproducción asexual o de semilla recalcitrante. En la figura 1 se observan las principales estrategias creadas por centros de investigación que son usadas en la actualidad (Priyanka et al., 2021; Quazi et al., 2021; Rukhsar et al., 2015).

Figura 1

Estrategias de conservación de recursos naturales.



2.5.1. Conservación *in situ*.

Comprende la conservación de los recursos genéticos locales en su ecosistema y hábitat natural, mediante técnicas que implican el mantenimiento de la variación genética en el lugar donde están las especies, sean estos entornos agrícolas o silvestres, dependiendo del modo de reproducción y naturaleza de las plantas a conservar. En Ecuador, el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) determina las áreas de mayor prioridad para la conservación de la biodiversidad, desarrollo sustentable y mantenimiento de las funciones ecológicas en diferentes categorías, las cuales se enlistan en la tabla 2 (Columba, 2013; Rajpurohit & Jhang, 2015).

Tabla 2.

Clasificación de áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad del Ecuador. Modificado de: Columba, (2013).

Categoría	Tamaño	Nivel de restricción	Actividades prioritarias	Actividades de apoyo a la conservación	Áreas registradas
Parques nacionales	Más de 10000 ha	Alto	Investigación y monitoreo ambiental.	Turismo de naturaleza	Galápagos, Machalilla, Cayambe Coca, Cotopaxi, Llangates, Sangay, El Cajas, Podocarpus, Yacuri, Sumaco-Napo-Galeras, Yasuní.
Reserva marina	Variable	Moderado	Conservación de ecosistemas y especies marinas.	Pesca	Galera San Francisco, El Pelado, Galápagos
Reservas ecológicas	Variable	Moderado	Conservación, investigación y educación ambiental.	Actividades de recreación y turismo en áreas limitadas	Manglares Cayapas Mataje, Mache Chindul, Manglares Churute, Arenillas, El Ángel, Cotacachi Cayapas, Antisana, Los Illinizas, Cofán Bermejo.
Reserva biológica	Más de 10000 ha	Muy alto	Investigación biológica, ecológica y ambiental.	Educación ambiental	Limoncocha, El Cóndor, El Quimi, Cerro El Plateado, Colonso Chalupas.
Reserva de producción de flora y fauna	5000-10000 ha	Bajo	Manejo sustentable de recursos, restauración y educación ambiental.	Turismo de naturaleza	Puntilla de Santa Elena, Manglares El Salado, Chimborazo, Cuyabeno.
Refugio de vida silvestre	Menos 5000 ha	Alto	Manejo de hábitat y especies, investigación, monitoreo y restauración.	Educación ambiental	La Chiquita, Estuario de río Esmeraldas, Estuario de río Muisne, El Pambilar, Isla Corazón y Fragatas, Marino Costera Pacoche, El Zarza, Manglares El Morro, Isla Santa. Clara, Pasochoa.
Área natural de recreación	5000-10000 ha	Bajo	Investigación, restauración y monitoreo ambiental.	Turismo y recreación	Playas de Villamil, Parque Lago, Los Samanes, Isla Santay, El Boliche, Quimsacocha.
Reserva geobotánica	Variable	Bajo	Conservación de ecosistemas y germoplasma de especies en vías de extinción.	Turismo recreativo y educación cultural	Pululahua

2.5.2. Conservación ex situ.

Implica la conservación de los componentes de la diversidad biológica (genes o genotipos) fuera de sus hábitats naturales para su uso e investigación a corto, mediano o largo plazo. Para ello, se emplean infraestructuras de almacenamiento denominadas “bancos”, las cuales se estima existen alrededor de 1750 en todo el mundo, manteniendo cerca de 7,2 millones de muestras de distintas fuentes. En esta categoría se encuentran: los bancos de semillas ortodoxas, bancos de germoplasma *in vivo*, bancos de germoplasma *in vitro*, bancos de polen y los bancos de ADN (Fu, 2017; Gutiérrez & Koch, 2015).

En Ecuador existen algunos centros de conservación *ex situ*, dedicados a la preservación de la biodiversidad agrícola y silvestre local, con el fin de contribuir a la seguridad alimentaria y combatir los efectos del cambio climático. Entre ellos destacan el Banco de Germoplasma del INIAP, Banco de Germoplasma del Ministerio del Ambiente (MAE), Banco de Semillas de la Fundación Runa, Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), Banco de Germoplasma de la Universidad de Cuenca, Banco de Germoplasma de la Universidad de Loja, Banco de Germoplasma de la Estación Experimental Santa Catalina, Estación Central de la Amazonía, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Banco de Germoplasma de la Universidad Central del Ecuador, entre otros centros regionales y comunitarios (Arguello Pazmiño et al., 2021; Narváez et al., 2010; Valencia Carreño et al., 2022)

2.5.2.1. Conservación de germoplasma en bancos in vitro.

Hace referencia a la conservación de recursos genéticos a corto y mediano plazo, en ambientes controlados de laboratorio. Aquí se emplean dos técnicas de almacenamiento de semillas o explantes vegetativos: la crioconservación y los métodos de crecimiento mínimo. Este último incluye métodos como la micropropagación de meristemas apicales/axilares, embriogénesis somática y tecnologías de rescate de embriones, que tienen el objetivo de generar y mantener individuos genéticamente uniformes en determinadas condiciones de crecimiento. Entre las ventajas de la conservación *in vitro* están la obtención de material libre de patógenos y la rapidez de propagación de este. Las desventajas se relacionan con el costo de infraestructura y equipo especializado, así como la revisión constante de la estabilidad del germoplasma (Panis et al., 2020; Rajasekharan & Sahijram, 2015).

Los métodos de crecimiento mínimo utilizan explantes vegetales estériles, creciendo en medios enriquecidos modificados dentro de espacios con condiciones definidas, lo que permite disminuir su actividad fisiológica y metabólica. Esta técnica es apropiada para preservar especies vegetativas raras y endémicas en peligro de extinción o con semilla recalcitrante/intermedia. Además, a través de este método se resuelven desventajas de la conservación *in situ*, como el uso de espacio, mano de obra, exposición a plagas y desastres naturales. El esquema general de un proceso de introducción *in vitro* se observa en la figura 2 (Coelho et al., 2020; Engelmann, 2011; Gonzalez Benito et al., 2004).

Figura 2

Método de conservación in vitro de tejido vegetal.



2.6. La cafcultura en el Ecuador.

La producción aproximada de café en Ecuador es del 14% de la superficie agrícola, donde los actores son poblaciones de las regiones Costa, Sierra y Amazonía. En algunas localidades, esta actividad se considera la principal fuente de ingresos económicos para las familias, cuyos responsables son agricultores con edades aproximadas de 45 y 64 años y que han dedicado su vida al campo. Mientras que, por el contrario, los individuos más jóvenes deciden ocupar otras fuentes de trabajo menos extenuantes, abandonando en muchos casos los cultivos heredados. Esto pone en desconcierto del futuro de la actividad cafetalera en el país, donde existe una reducción significativa de las áreas agrícolas (Echeverría et al., 2022; Ponce, Orellana, et al., 2018).

Otros factores como la dificultad de manejo por la prevalencia de ejemplares longevos, deficientes controles de calidad e inocuidad, asociatividad insuficiente, baja tecnificación, cambio climático y agravamiento de enfermedades han provocado la reducción de cerca del 85% de áreas destinadas al cultivo de café en los últimos 10 años, de acuerdo con el informe presentado por el Banco Central del Ecuador (BCE). El abandono y reemplazo de cultivos son factores que promueven la pérdida de recursos fitogenéticos locales y con ello, la biodiversidad (BCE, 2014; Ponce, Acuña, et al., 2018).

2.6.1. Cultivo de café en Ecuador y el valle de Intag.

En las regiones del Ecuador se emplean técnicas agroforestales sostenibles con el fin de mejorar la dinámica comercial, mediante asociaciones de productores locales. Algunos ejemplos en Ecuador son: APCI, AACRI, CAFELIX, RAPCI, AROMA DE CAFÉ, PROCAP, APECAM, APECAEL, PROCAFEQ, APECAP, ACEDE, APACCH, FAPECAFES, ASOSUMACO, ubicadas alrededor del país (García & Quezada, 2021; Prefectura de Imbabura, 2023).

En la provincia de Imbabura, el valle de Intag es una de las zonas donde se cosecha café arábigo de altura, reconocido por su manejo artesanal orgánico. El referente de la región es la asociación AACRI, integrada por alrededor de 150 familias, cuya finalidad es resaltar el valor agregado y calidad a nivel internacional de su producto. El manejo de variedades susceptibles es un problema local en Intag, debido a los elevados costos de mantenimiento. Sin embargo, estas variedades producen granos de calidad, de preferencia para el mercado internacional (Espinoza, 2022; Navarrete Karla, 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Caracterización del área de estudio.

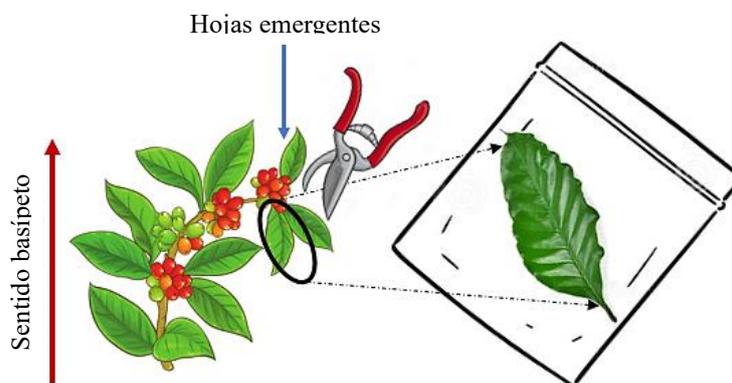
La investigación se realizó en las instalaciones del laboratorio de biotecnología vegetal de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) de la Universidad Técnica del Norte, campus San Vicente de Paúl, ubicado en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura.

Las muestras se colectaron de una plantación privada ubicada en Perugal, en la ciudad de Atuntaqui. Esta zona, se encuentra entre los 2340-2360 m.s.n.m. y su temperatura promedio bordea los 17°C, con precipitaciones de 2900 a 3000 mm/año. Las plantas de café encontradas en esta localidad provienen de ejemplares trasladados desde Apuela, en Intag. Esta región, por su parte, se ubica entre los 1600 a 2000 m.s.n.m., con temperatura promedio de 18°C y precipitaciones de 1000 a 3000 mm/año. Intag es una de las áreas cafeteras más importantes de la provincia, por su clima tropical que le confiere un ambiente templado sub andino y subtropical ideal para el café de altura (ClimateData, 2024; GAD-Antonio Ante, 2022; GAD-Santa Ana de Cotacachi, 2015).

Se recolectaron hojas jóvenes, sin signos aparentes de enfermedades, vigorosas y completamente desarrolladas. Se seleccionó el segundo par emergente en sentido basípeto de las ramificaciones intermedias de las plantas. Las muestras frescas se trasladaron hacia las instalaciones del área de estudio en fundas de celofán herméticas, como se observa en la figura 3 (Cevallos et al., 2018; Ciridhar et al., 2004).

Figura 3

Método de recolección de muestras de hojas de café.



3.2. Recolección de información de manejo agronómico del café de Apuela.

Se elaboró una encuesta (Anexo 14) para identificar las variedades de café cultivadas en Apuela y comprender su manejo en campo. Se definieron los sitios dedicados al cultivo de café dentro de la parroquia de Apuela (Figura 4), cuyos responsables formen parte de AACRI y puedan compartir información acerca del estado y cuidado de sus plantaciones. Se identificaron trece productores con ayuda de la asociación, de los cuales siete (53,8%) fueron encuestados. El sondeo se realizó de manera personal, con previa socialización de los objetivos de la investigación, requerimientos y aportes para la comunidad cafetalera. Se recolectaron datos referentes a las plantaciones, superficie, técnicas agroforestales, control de plagas y enfermedades, estado de las variedades, problemas actuales, entre otros aspectos de interés. Se registraron las coordenadas geográficas de los predios mediante la aplicación satelital GPS Tools de VirtualMaze (Cortina et al., 2013; Cotrina, 2014; Fernández, 2017; INEC, 2023).

Figura 4

Vista satelital de la parroquia de Apuela, valle de Intag.



3.3. Preparación de medio y desinfección de explantes.

Se utilizó el medio basal Murashige and Skoog (M519) con vitaminas de la marca PhytoTech al 50%, junto con sacarosa 20 g/L, Gelzan 2,5 g/L y cisteína 25 mg/L. No se emplearon reguladores de crecimiento. Se prepararon 20 tubos de ensayo de 25x200 mL con 15 mL de medio sólido para cada tratamiento (Ahmed et al., 2013).

Se usaron diferentes tratamientos de desinfección (Tabla 3) para evaluar los porcentajes de efectividad, así como las variedades de mejor respuesta. Las hojas recolectadas fueron lavadas manualmente con solución jabonosa al 2% durante 10 minutos, para eliminar los residuos grandes. Luego, las muestras se trasladaron a la cámara de flujo laminar para el lavado con solución detergente (1,3% p/v) y Tween 20 (0,5% v/v) durante 15 min, dando paso a las sustancias desinfectantes de cada tratamiento (Figura 5). Las muestras desinfectadas se sumergieron en solución de cisteína (825 mg/L) por 30 minutos y las hojas se recuperaron para la obtención de explantes (Montes, 1982)

Tabla 3.

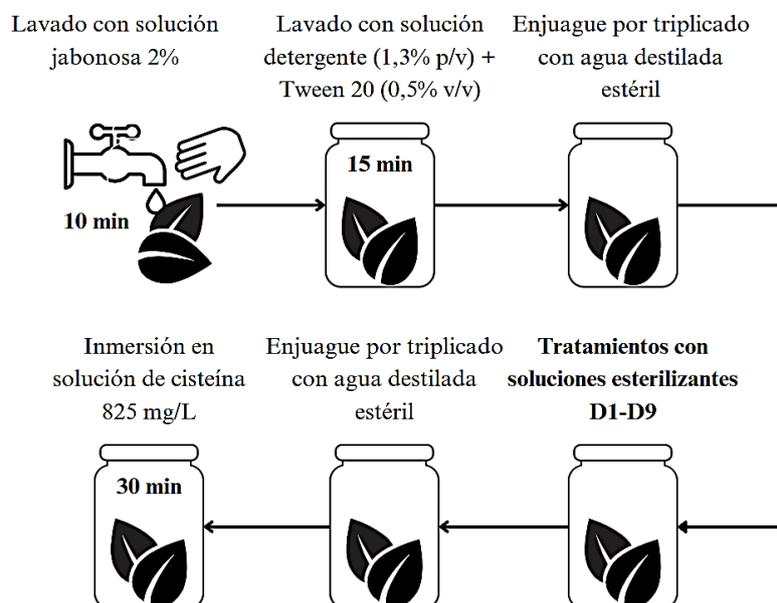
Tratamientos de desinfección.

Tratamiento D1			
Soluciones desinfectantes	Concentración	Tiempo (min)	Fuente
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	Ángel et al., 2018
Agua + hipoclorito de sodio (<i>NaClO</i>)	2,5% v/v	15	
Tratamiento D2			
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	Santana et al., 1998
Agua + <i>NaClO</i>	2,5% v/v	15	
Agua + Etanol	70% v/v	0,5	
Tratamiento D3			
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	Clarindo et al., 2012
Agua + <i>NaClO</i>	2,5% v/v	15	
Agua + Ácido bórico	0,5% p/v	20	
Agua + Etanol	70% v/v	0,5	
Tratamiento D4			
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	Bedoya et al., 2016
Agua + <i>NaClO</i>	2,5% v/v	15	
Agua + Antifúngico	0,2%	25	
Agua + etanol	70% v/v	0,5	
Tratamiento D5			
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	Chone et al., 2018
Agua + <i>NaClO</i>	2,5% v/v	15	
Agua + Antifúngico	0,3%	25	
Agua + etanol	70% v/v	0,5	
Tratamiento D6			
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	
Agua + <i>NaClO</i>	2,5% v/v	15	
Agua + Antifúngico	0,4%	25	
Agua + etanol	70% v/v	0,5	
Tratamiento D7			
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	Kahia et al., 2016
Agua + <i>NaClO</i>	2,5% v/v	15	
Agua + Hidróxido de calcio (<i>CaOH</i>)	3% p/v	20	
Agua + Etanol	70% v/v	0,5	
Tratamiento D8			
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	Rojas-Vásquez et al., 2022
Agua + <i>NaClO</i>	1,5% v/v	20	
Agua + <i>NaClO</i>	2,5% v/v	10	
Agua + Etanol	70% v/v	0,5	
Tratamiento D9			
Agua + Detergente + Tween 20	1,3% p/v - 0,5% v/v	15	

Agua + NaClO	2% v/v	15	Mihaljevic et al., 2013
Agua + Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)	1% v/v	20	
Agua + Etanol	70% v/v	0,5	

Figura 5

Etapas de desinfección de los tratamientos.



3.4. Obtención de explantes y siembra.

Se extrajeron explantes con un tamaño aproximado de 1 cm^2 y un máximo de 6 unidades por hoja. Los cortes se realizaron con cuidado de no incluir nervios principales ni secundarios. Cada explante se sembró manteniendo la superficie adaxial en contacto con el medio. Los tubos sellados se mantuvieron en completa oscuridad a temperatura ambiente durante 15 días, evaluando la presencia de contaminación cada 72 horas (Molina et al., 2002).

3.5. Establecimiento de las variedades de mejor respuesta.

Se probaron concentraciones del esterilizante H_2O_2 (1%, 1,5% y 2%), en diferentes tiempos de exposición (10, 15 y 20 minutos), como etapa adicional a la desinfección con NaClO (2% por 15 minutos) para las variedades Colombia y Caturra roja (Tabla 4). Se determinó el porcentaje de explantes sanos, fenolizados y contaminados por cada tratamiento para cada variedad luego de 15 días de siembra en medio de pre-cultivo (Ahmadpoor et al., 2022; Gantait & Sinniah, 2014).

Tabla 4.

Tratamientos con H₂O₂ evaluados en la desinfección de hojas de café.

Tratamiento	Concentración de H₂O₂ (%)	Tiempo (min)
P1	1,0	10
P2	1,0	15
P3	1,0	20
P4	1,5	10
P5	1,5	15
P6	1,5	20
P7	2,0	10
P8	2,0	15
P9	2,0	20

3.6. Formación de callos embriogénicos.

Los explantes desinfectados de la variedad Colombia se sembraron en frascos de vidrio de 250 mL, que contenían 30 mL de medio sólido compuesto por las sales basales MS con vitaminas al 50%, sacarosa (30 g/L), cisteína (30 mg/L) y Gelzan (2,5 g/L). En tanto, para Caturra roja, el medio estaba conformado por sales MS al 50%, extracto de malta (400 mg/L), tiamina (10 mg/L), ácido nicotínico (0,5 mg/L), piridoxina (0,5 mg/L), inositol (100 mg/L), glicina (1 mg/L), caseína (100 mg/L), sacarosa (30 g/L), cisteína (30 mg/L) y Gelzan (2,5 g/L). Se evaluaron diferentes tratamientos con fitohormonas para determinar la mejor respuesta en la generación de callos embriogénicos en ambas variedades (Tabla 5) (Avila-Victor et al., 2023; Van Boxtel & Berthouly, 1996).

Tabla 5.

Fitohormonas para la inducción de callo embriogénico.

Tratamiento	Concentración (mg/L)				
	2,4-D	BAP	IBA	2-iP	Kinetina
F1V4	3,0	2,0	-	-	-
F2V4	2,0	-	-	-	3,0
F3V4	2,0	0,2	-	-	-
F4V4	4,0	0,4	-	-	-
F1V5	3,0	2,0	-	-	-
F2V5	2,0	-	-	-	3,0
F3V5	2,0	0,2	-	-	-
F4V5	4,0	0,4	-	-	-
F5V5	0,5	-	1,0	2,0	-
F6V5	1,0	-	2,0	4,0	-

Nota: Variedades: Colombia (V4), Caturra roja (V5). Tratamientos con fitohormonas: F1-F6.

Los cultivos se mantuvieron en oscuridad y se realizaron resiembras cada cuatro semanas, por un periodo de 3 meses para mantener células viables. Se realizaron 10-20 repeticiones por tratamiento. Al final del tiempo establecido se determinó el porcentaje de explantes con formación de callo y el porcentaje de supervivencia de estos. Además, se calculó el porcentaje de peso seco y el porcentaje de humedad de las células frescas (Ecuación 1) a partir de las muestras de callo de cada tratamiento para determinar el peso seco en unidades de masa (mg). Los datos obtenidos se ajustaron a la normalidad mediante una transformación raíz cuadrada. El secado se realizó en un horno a 60°C durante 72 horas (Montes, 1982; Romano, 2023).

(1)

$$\% \text{ de peso seco} = \left(\frac{\text{Peso de masa seca} - \text{Peso de caja Petri vacía}}{\text{Peso de masa fresca} - \text{Peso de caja Petri vacía}} \right) \times 100$$

3.7. Establecimiento de suspensiones celulares.

Se evaluaron dos medios de cultivo para determinar el efecto de la composición de nutrientes en la generación de biomasa (Tabla 6). Los medios se esterilizaron por autoclave dentro de matraces Erlenmeyer de 100 mL con tapón de ventilación, los mismos que contenían 30 mL de medio líquido de cada tratamiento. Para el inóculo, se tomaron muestras de callo fresco (aproximadamente 1 cm²) de cada variedad y se colocaron como inóculo para los matraces. Luego de la inoculación estos se mantuvieron en oscuridad y agitación constante a 110 rpm y 27°C en un agitador orbital magnético. El monitoreo del crecimiento celular se realizó cada 15 días durante 3,5 meses, con un densitómetro marca Biosan DEN-18 (Di Bonaventura et al., 2024; Mohan & Pramod, 2005; Sartor & Mazzafera, 2000)

Tabla 6.

Tratamientos para multiplicación de células de callos de café.

Tratamiento	Composición	Concentración (mg/L)	Fuente
M1	Medio basal Murashige & Skoog	4.43	Avila-Victor et al., 2023
	Sacarosa	25	
	Cisteína	25	
	2,4-D	2	
	BAP	2	
M2	Medio basal Murashige & Skoog (50%)	2,215	Etienne, 2005
	Tiamina	10	
	Piridoxina	1	
	Ácido nicotínico	1	
	Glicina	1	

Inositol	100
Caseína	100
Extracto de malta	400
Cisteína	30
Sacarosa	20
2,4-D	1,1
2-iP	2
IBA	1

3.8. Elaboración de un manual de manejo agronómico.

Se elaboró un manual para manejo agronómico de las variedades identificadas, para describir las técnicas empleadas por los productores de Apuela, empleando los datos recolectados a través de la encuesta (Anexo 14). El contenido incluyó información local como la geografía, condiciones ambientales, características de las plantaciones, principales problemas del sector y los esfuerzos actuales para afrontarlos, entre otros. Los datos consultados se extrajeron de manuales y guías de cultivo de café en línea, artículos de revistas científicas (springer nature, mdpi, plants, Elsevier, entre otros), páginas web de organizaciones e instituciones nacionales e internacionales y bases de datos estadísticos que describen el estado de las plantaciones en diversas regiones del mundo. La información también se usó para establecer relaciones entre las variables evaluadas y los patrones productivos de la localidad. Las palabras clave empleadas en la búsqueda bibliográfica se observan en la tabla 7 (Anacafé, 2020; Farfán, 2007; Gómez, 2024).

Tabla 7.

Términos de búsqueda bibliográfica.

En español	En inglés
Café Y Manual O Guía de cultivo	Coffee AND Cultivation manual OR Guide
<i>Coffea arabica</i> Y Variedades	<i>Coffea arabica</i> AND Varieties
Manejo orgánico Y Café	Organic management AND Coffee
Sistemas agroforestales Y Café	Agroforestry systems AND Coffee
Control biológico Y Roya del café	Biological control AND Coffee rust
Control biológico Y Broca	Biological control AND Coffee berry borer
Tipos de poda Y Café	Types of pruning cuts AND Coffee
Temperatura Y Variedades café arábigo	Temperature AND Arabica Coffee varieties
Altitud Y Variedades de café arábigo	Altitude AND Arabica Coffee varieties
Fertilizantes orgánicos Y Café	Organic fertilizers AND Coffee

Figura 6

Contenido del manual de manejo agronómico de café.

Presentación -----	1
1. Aspectos generales: condiciones agroecológicas. -----	2
1.1. Altitud -----	2
1.2. Precipitaciones -----	3
1.3. Temperatura -----	4
1.4. Humedad relativa -----	5
1.5. Viento -----	6
2. Variedades cultivadas -----	7
2.1. Caturra rojo -----	8
2.2. Caturra amarillo -----	9
2.3. Tipica criollo -----	10
2.4. Tipica mejorado -----	11
3. Manejo orgánico de las plantaciones -----	12
3.1. Sistemas agroforestales -----	13
3.2. Poda del cafeto -----	14
3.3. Deshija post-podación -----	16
3.4. Fertilización orgánica -----	17
3.4.1. Fertilización diluida -----	18
3.4.2. Fertilización sólida -----	19
4. Plagas comunes del café arábigo -----	22
4.1. Broca del café -----	22
4.2. Minador de la hoja -----	23
5. Principales enfermedades -----	24
5.1. Roya -----	24
5.2. Mal de hilachas -----	24
5.3. Ojo de gallo -----	25
5.4. Antracnosis -----	25
5.5. Control de enfermedades -----	26
6. Referencias bibliográficas -----	28
7. Anexos -----	31

3.9. Análisis estadístico.

3.9.1. Desinfección.

Se evaluó el porcentaje de explantes sanos, contaminados y fenolizados en cada tratamiento para las dos variedades. Se empleó un ANOVA con diseño de bloques completos al azar (DBCA) y arreglo factorial AxB, para definir si existen diferencias entre los grupos. Además, se realizó una prueba a posteriori Tukey 0,05% para identificar los intervalos de confianza entre las comparaciones de concentración-tiempo.

3.9.2. Formación de callos de células indiferenciadas.

Se seleccionó el mejor tratamiento para cada variedad, al evaluar el porcentaje de explantes con formación de callo alcanzado. Se realizó una prueba T de Student de muestras independientes, para comparar el efecto de las combinaciones de fitohormonas de los ensayos seleccionados. Además, mediante una prueba Chi cuadrado, se evaluó si existe significancia entre las concentraciones de fitohormonas y el grado de fenolización, en la etapa de formación de callo. Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

H0: *la fenolización de explantes es independiente de las concentraciones de fitohormonas.*

H1: *la fenolización depende de las concentraciones de fitohormonas.*

3.9.3. Establecimiento de suspensiones celulares.

Se realizó una valoración descriptiva de las curvas obtenidas, identificando las fases del crecimiento de las células en suspensión. Se compararon los tiempos de duración de cada etapa, relacionando los datos de densidad óptica con la cantidad de biomasa generada.

3.9.4. Elaboración del manual de manejo agronómico de café.

Se evaluaron los patrones de cultivo empírico desarrollados por los socios, así como las condiciones de manejo y estado de las plantaciones, para determinar la proporción de la población encuestada que obtiene resultados satisfactorios. Los datos de las tendencias obtenidas servirán para establecer relaciones entre las variables estudiadas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

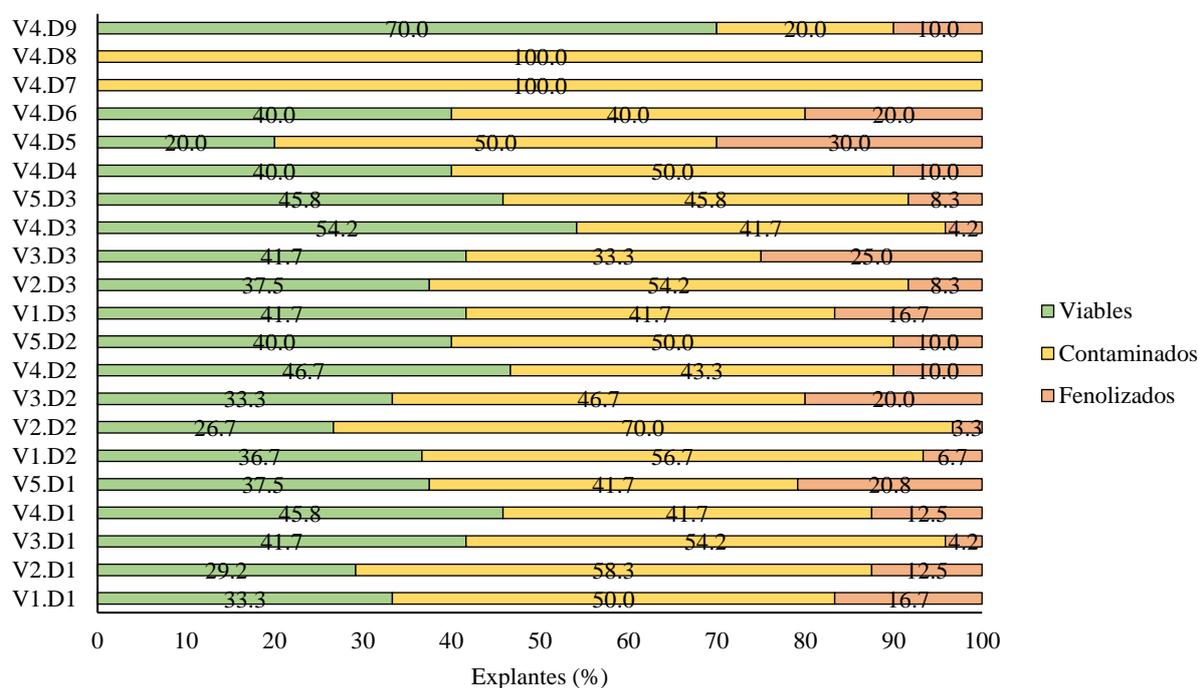
4.1. Desinfección.

En esta etapa se observó que los tratamientos D1, D2 y D3 lograron buenos resultados con muestras de las variedades V4 y V5, obteniendo un promedio de viabilidad del 48,9% y 41,1% respectivamente, mientras que V1, V2 y V3 fueron menos efectivas, con solo el 37,2%, 31,1% y 38,9% (Figura 7). Esto sugiere que las variedades responden de manera distinta a la desinfección, lo que podría estar relacionado con factores como: nivel de colonización de microorganismos, presencia de otras especies vegetales en el entorno, prácticas agro-productivas, condiciones ambientales, características fisiológicas, entre otros. Asimismo, las variedades V2 y V3 mencionadas se consideran linajes clásicos de café arábigo, con pocas adaptaciones debido a su escasa variabilidad genética, que figuraría como uno de los elementos que promueve, de forma indirecta, la mayor presencia de microorganismos en estas plantas (Leifert et al., 1994; Teixeira da Silva et al., 2016).

Por otro lado, a partir de los demás tratamientos probados con muestras de V4 (D4, D5, D6, D7, D8 y D9), se obtuvo que D9 logró un 70% de viabilidad después de 15 días de cultivo, mientras que los restantes no mostraron efectividad superior al 40%. El tratamiento en dos etapas D9 involucró el uso de $NaClO$ 2% por 15 min y H_2O_2 1% por 20 min, cuyo efecto positivo pudo deberse a la exposición de las hojas de café a este segundo esterilizante, que también actúa como fungicida, bactericida y alguicida de amplio espectro. Esta sustancia es un oxidante de grupos sulfhidrilo y dobles enlaces de proteínas y lípidos de la membrana citoplasmática de los microorganismos. Además, crea radicales libres que actúan contra el ADN y otros componentes celulares esenciales, lo que habría permitido aumentar la eficiencia en la desinfección (Abdelnour, 2012; Perera et al., 2012).

Figura 7

Efecto de los tratamientos en la desinfección de muestras de hojas de las variedades.



NOTA: Variedades de *Coffea* sp. (V1): Caturra amarilla, (V2): Bourbon, (V3): Típica, (V4): Colombia, (V5): Caturra roja.

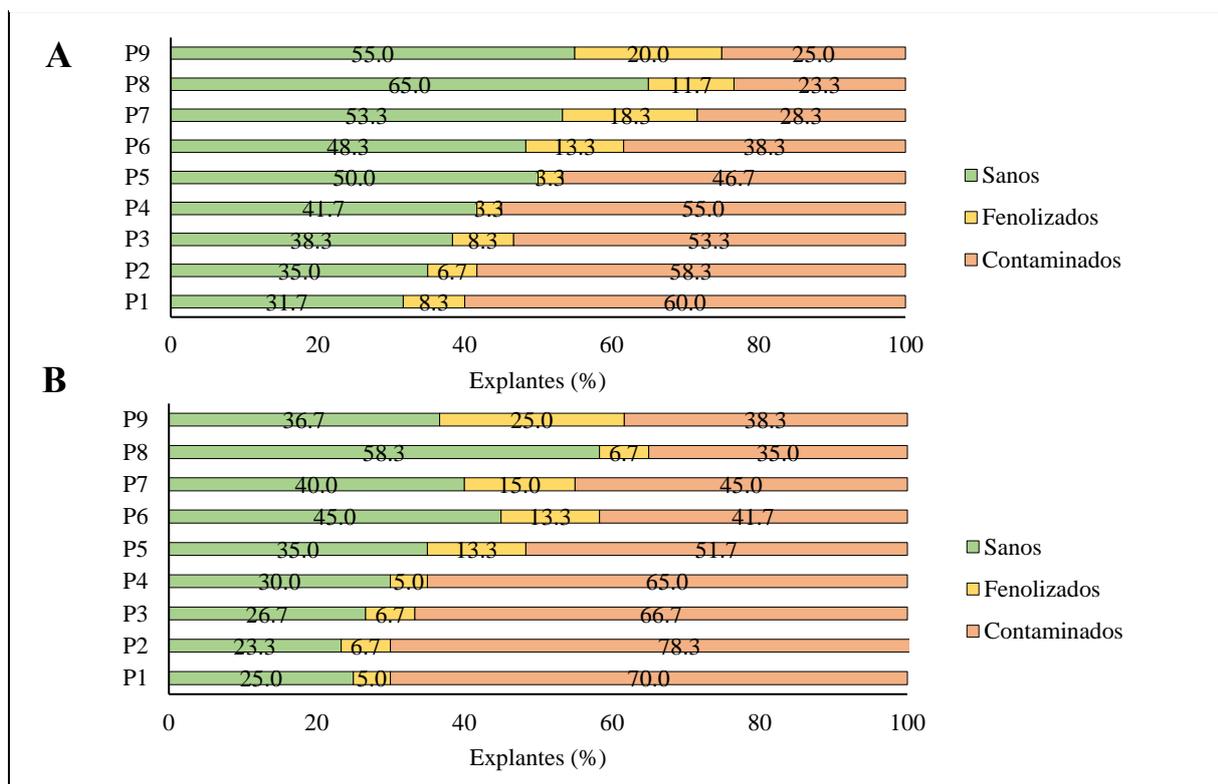
La baja eficiencia en el 88,9% de los casos presentados (D1-D8) estaría también vinculada al método empleado, debido a que la acción de los esterilizantes depende de las condiciones de aplicación y manipulación. Es decir, el uso inadecuado pudo favorecer la permanencia de contaminantes o la oxidación del tejido vegetal. Asimismo, la longevidad del ejemplar es importante, ya que los cafetos son plantas leñosas perennes que pueden vivir hasta 25 años, pero se mantienen en producción durante 5 o 7 años. Sin embargo, este tiempo sería suficiente para acumular una gran diversidad microbiana, que eventualmente dificultaría la introducción *in vitro* de estas especies vegetales (Herrera & Cortina, 2013; Mihaljevic et al., 2013).

4.2. Establecimiento de las variedades de mejor respuesta.

Los resultados indican que la desinfección de las muestras con distintas combinaciones de las variables: concentración de H_2O_2 y tiempo de exposición, permite generar diferentes respuestas en el porcentaje de viabilidad de los explantes de V4 y V5 (Figura 8A y 8B). Sin embargo, ninguno de estos ensayos alcanzó el 70% de efectividad logrado en tratamientos previos, lo que podría atribuirse a la influencia de factores bióticos y abióticos durante el muestreo y/o la desinfección.

Figura 8

Efecto de la desinfección con H_2O_2 en hojas de *Coffea sp. var. Colombia* (A) y *C. roja* (B).



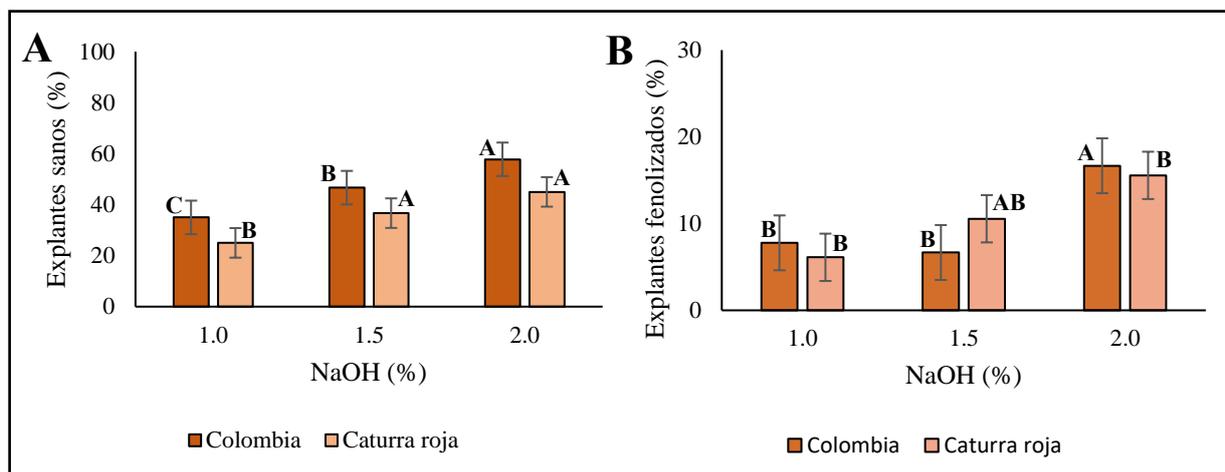
Del análisis de la varianza se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos P1-P9 en la efectividad con V4 y V5 ($p < 0,0063$ y $p < 0,0028$) (ANOVA, Anexo 1-2). Entre ellos, P8 alcanzó el 65% y 58,33% de viabilidad respectivamente, con el uso de H_2O_2 al 2% por 15 min. Esto concuerda con el estudio realizado por Ahmadpoor et al., (2022), quien evaluó diferentes tratamientos para disminuir la contaminación en hojas de *Melia azedarach* L, demostrando que el uso de H_2O_2 al 5% por 10 min y NaClO al 2% por 12 min puede mejorar hasta un 87% la efectividad en la desinfección, con solo 0,35% de fenolización. Por el contrario, el resto de los tratamientos tuvieron respuestas menores, por lo que no se consideraron adecuados para esta etapa.

Sabiendo esto, al evaluar la influencia de la concentración del desinfectante se encontró un efecto significativo para la generación de explantes sanos ($p < 0,0002$ “V4” y $p < 0,0006$ “V5”) (Anexo 3-4) y con la prueba Tukey $\alpha = 0,05$ (Anexo 7-8) se dedujo que el uso de H_2O_2 al 2% (P8) podría ser mejor para desinfectar ambas variedades (Figura 9A). No obstante, la fenolización puede ser mayor (Figura 9B), debido a que la sustancia, además de afectar la forma y función de los microorganismos, puede inhibir la actividad enzimática de células vegetales al exceder concentraciones y/o tiempos óptimos,

especialmente cuando se trata de muestras sin cubierta protectora como hojas, nodos axilares, brotes y embriones (Ahmad et al., 2013; Bharti et al., 2018; Bonga & von Aderkas, 1992).

Figura 9

Efecto de las diferentes concentraciones de H₂O₂ sobre el estado de los explantes



Por otro lado, se encontraron diferencias significativas en los tiempos de exposición y la fenolización con explantes de V4 ($p < 0,0258$), mientras que V5 estuvo influenciada en menor medida ($p > 0,2282$) (ANOVA, Anexo 3). Esta diferencia entre las variedades puede estar ligada a las características genéticas y fisiológicas propias de cada una de ellas. A nivel fisiológico el H₂O₂ sería capaz de reaccionar con las enzimas oxidasas presentes en las hojas como polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasas (POD), cuya presencia puede variar con cada variedad. Por ello, el contacto de las enzimas con su sustrato pudo dar paso a la formación de radicales libres reactivos, que fueron capaces de dañar el tejido y células en ambos casos (Azofeifa, 2009; Ji et al., 2022).

4.3. Formación de callos de células indiferenciadas.

Luego de dos meses de cultivo en completa oscuridad, F3 y F4 generaron respuestas positivas en diferentes niveles con ambas variedades (V4 y V5), mientras que F1 y F2 no fueron efectivos para ninguna de ellas, debido a que en estos el 100% de los explantes sufrieron fenolización. De este modo, F4 alcanzó un 75% de formación de callo con muestras de V4, entre tanto que con F3 se obtuvo solo un 55% (Tabla 8). Esto concuerda con el estudio de (Avila-Victor et al., 2023), donde la adición de 0,2 mg/L de BAP y 2 mg/L de 2,4-D generó altos porcentajes de callos embriogénicos en explantes de hojas de

café arábigo var. Colombia. Sin embargo, al probar estos mismos tratamientos con muestras de V5, solo se alcanzó un 41,2% y 29,4% de efectividad, motivo por el cual se consideraron no aptos para esta última variedad (Van Staden et al., 2006).

Por lo tanto, al evaluar dos tratamientos adicionales (F5 y F6) en muestras de V5, se logró optimizar las respuestas de formación en hasta un 60% y 73,3% respectivamente. Esto fue evaluado previamente por (Kumar, 2005), quien empleó dos tratamientos con fitohormonas: **A** (2,4-D 0,5 mg/L, IBA 0,5 mg/L y 2-iP 2 mg/L) y **B** (2,4-D 1 mg/L y 2-iP 2 mg/L), obteniendo un 68% y 36% de formación de callo respectivamente con explantes de hojas de *C. canephora* cv. S-274. Mientras que (Mwaniki et al., 2019) reportó variaciones en el grado de inducción de callo con dos variedades de café ante un mismo tratamiento. Por este motivo, se podría suponer que modificar las condiciones de crecimiento (fitohormonas, medio de cultivo, condiciones ambientales) de manera más específica para cada variedad, daría como resultado mejores desempeños en el cultivo, debido a la influencia del genotipo.

Tabla 8.

Respuesta de los tratamientos en la formación de callos embriogénicos.

Tratamiento	Explantes totales	Explantes fenolizados (%)	Explantes contaminados (%)	Explantes con formación de callo (%)
F1V4	10	100,0	0	0
F2V4	10	100,0	0	0
F3V4	20	40,0	5,0	55,0
F4V4	20	20,0	5,0	75,0
F1V5	10	100,0	0	0
F2V5	10	100,0	0	0
F3V5	17	47,0	11,7	41,2
F4V5	17	70,6	0,0	29,4
F5V5	15	33,3	6,7	60,0
F6V5	15	26,7	0,0	73,3

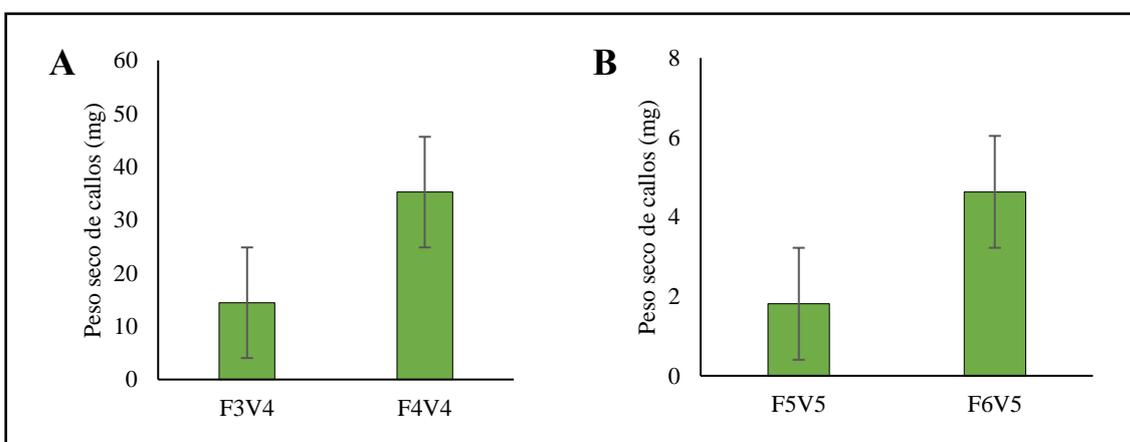
Con respecto a la elevada fenolización suscitada con explantes de F1 y F2, se cree que pudo atribuirse a factores de estrés que provocaron desbalances en las reacciones con formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), así como por el tipo de muestra y su estado durante la recolección. Las hojas utilizadas en estos tratamientos eran maduras y correspondían al cuarto par en sentido basípeto de la rama, por lo que existe la posibilidad de que las células de estas hojas se encuentren diferenciadas en su totalidad, lo que habría dificultado la formación de callos embriogénicos, al contrario de lo que sucede con hojas inmaduras-jóvenes del segundo par emergente, cuyo potencial para callogénesis es mayor. (Azofeifa, 2009; López et al., 2010; Mittler et al., 2004).

Por último, los resultados de peso de biomasa seca de los callos medidos luego de tres meses de cultivo se analizaron mediante una prueba T de Student para muestras independientes (Anexo 13), observándose que existen diferencias significativas ($p < 0,0235$) entre las concentraciones de F3 y F4 con V4, alcanzando un mayor peso en miligramos al aumentar la concentración de las hormonas en F4 (4mg/L de 2,4-D y 0,4mg/L de BAP), como se observa en la figura 9A. Por el contrario, no se encontraron diferencias ($p > 0,1683$) entre F5 y F6 para V5 (figura 9B), es decir, en este caso la concentración de hormonas no influiría en la generación de biomasa.

La influencia de las fitohormonas dispuestas en el medio de cultivo puede estar regulada por la capacidad de las células vegetales para responder al suministro externo, debido a que las variedades cuentan con niveles endógenos propios de citoquininas y auxinas que podrían alterar la sensibilidad a los tratamientos. Por ello, aumentar la cantidad de fitohormonas para obtener mayor efectividad no siempre puede ser adecuado, lo que podría explicar las respuestas invariables registradas con V5 (Bojórquez et al., 2011).

Figura 10

Promedio de peso seco (mg) de callos formados en explantes de hojas de café.



En cuanto a la supervivencia de los callos, a pesar de que F3 y F4 generaron altas tasas de inducción en V4, la viabilidad se perdió luego de cuatro a cinco meses, a diferencia de F5 y F6 con V5, donde se mantuvo por más tiempo. El comportamiento de V4 se relaciona con lo observado por (Mayerni et al., 2020), quien logró mantener células vivas luego de aumentar la concentración de BAP de 0,5 mg/L a 1-2 mg/L, resaltando la importancia de compensar las concentraciones de auxinas-citocinas en cada etapa de crecimiento. Las concentraciones en F3 y F4 generaron crecimientos rápidos, pero para conservar la

viabilidad de los callos se necesita realizar subcultivos con medios de mantenimiento específicamente formulados (Gao et al., 2021).

4.4. Establecimiento de suspensiones celulares.

Al observar el crecimiento de los callos en suspensión de V4 y V5, no se registraron lecturas de densidad óptica durante los primeros 50 días de cultivo. Esto debido a que durante este tiempo las muestras de callos inoculados se encontraban en crecimiento. Luego de este tiempo, los callos comenzaron a disgregarse y difundirse por el medio, por lo que a partir del día 60 existió un aumento en la densidad óptica de aproximadamente 0,15 unidades McFarlan (MFU). El aumento de biomasa siguió constante y se identificaron las etapas a partir de la curva de crecimiento descrita. En cada caso la primera etapa (fase de latencia o Lag) duró hasta el día 60, mientras que del día 60 al 90 el incremento en la biomasa fue rápido describiendo la fase exponencial y finalmente, del día 90 al 105 el crecimiento comenzó a estabilizarse, iniciando la fase estacionara (figura 12). A pesar de que se obtuvieron respuestas similares entre los tratamientos, T1 alcanzó un valor más alto de 1,21 MFU con V4, respecto a 1,16 MFU logrando con V5 (Diniz et al., 2017; Vondrakova et al., 2018).

Figura 11

Efecto de los tratamientos de multiplicación en células suspendidas de las variedades: A: Colombia-T1, B: Colombia-T2.

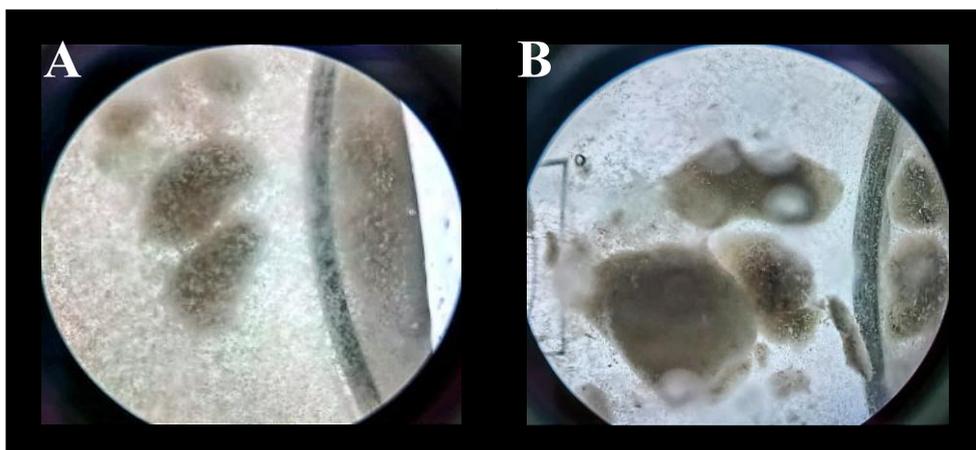
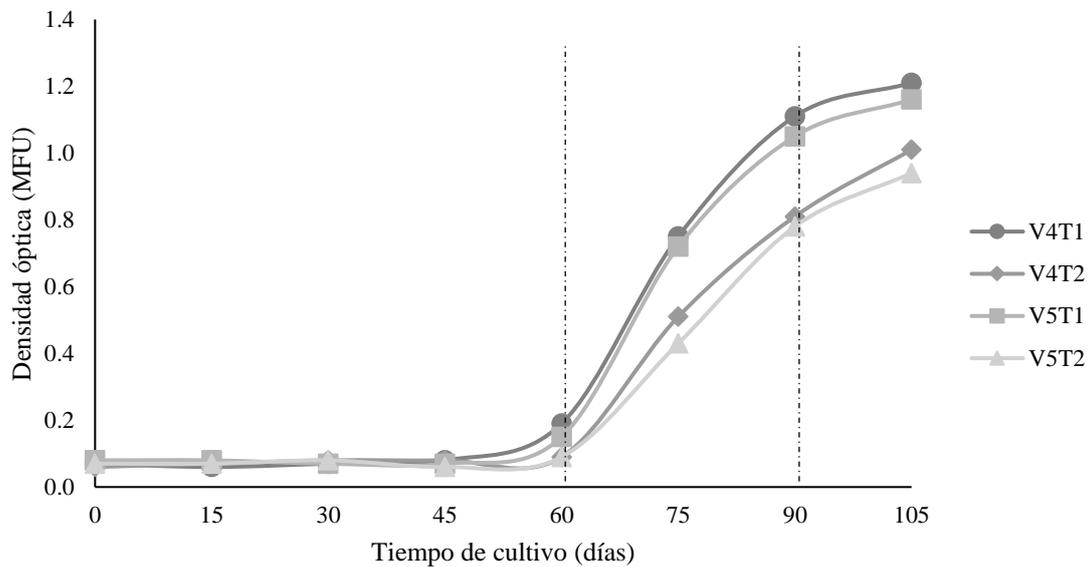


Figura 12

Curvas de crecimiento de las células en multiplicación



A pesar de que en literatura no se encontraron estándares McFarland establecidos a partir de cultivos de células de café en suspensión, estudios previos relacionaron el número de células por mililitro y peso fresco-seco de células en suspensión de callos de pera (*Pyrus communis* L.) mediante densidad óptica con espectrofotómetro (Abs 525 nm) (Ryu & Romani, 1990). Sin embargo, es evidente que, para determinar una concentración en unidades de masa, a partir de MFU obtenidos en este estudio, es necesario establecer estándares en relación con las condiciones de crecimiento manejadas, debido a la poca uniformidad en tamaño y distribución de las células vegetales. Por ello, pese a que el aumento en la densidad óptica registrado concuerda con las fases de crecimiento, no se pudo estimar la cantidad de biomasa real obtenida a lo largo del proceso (Aoyagi et al., 1992; Pasternak & Steinmacher, 2024).

En cuanto a la duración de cada fase descrita por la curva, se determinó que lo observado no corresponde con lo detallado en otros estudios. Es así como (Torres et al., 2018) registró el inicio del periodo exponencial en el 4to día después de la inoculación, finalizando el día 20 con suspensiones de *C. arabica*, var. Bourbon amarillo. Esta disparidad pudo deberse a factores como el tamaño y forma del inóculo, composición del medio, tipo y concentración de reguladores de crecimiento, especie vegetal y grado de adaptación a las condiciones. En este caso, el inóculo inicial fue de aproximadamente el 10% (p/v), que podría no ser adecuado para el óptimo crecimiento celular. Además, el

inóculo inicial no se disgregó previamente, lo que pudo haber limitado el contacto y la adaptación del callo a las condiciones del medio (Fernández, 2018; Ribeiro et al., 2021).

Al observar la morfología, T1 generó células dispersas y homogéneas, como se muestra en la figura 11A, reflejando un mayor valor de densidad óptica. Por el contrario, T2 generó agregados de mayor tamaño que precipitaron (figura 11B). Esto puede relacionarse con la composición del medio de cada tratamiento, debido a que T2 contiene extracto de malta, componente que aumenta el potencial proliferativo de preembriones a partir de células de callos, generando estructuras compactas y poco hidratadas. Este componente es usado ampliamente en la embriogénesis somática de especies leñosas, (Mazri & Belkoura, 2021; Mohan & Pramod, 2005).

Por otro lado, en la curva obtenida no se logró identificar la fase de depleción. Sin embargo, se observa que a partir del día 90 el crecimiento se estabiliza, indicando que los nutrientes ya no se encuentran en la cantidad óptima para sustentar el crecimiento, por lo que paulatinamente las células morirán. Conocer esta fase es importante, debido a que el mantenimiento de las suspensiones por sobre este periodo resulta en un cambio morfológico, que disminuyen el potencial embriogénico. En este estudio, los datos indican que el intervalo óptimo de subcultivo de las células en suspensión es de 90 días. No obstante, se debe considerar que estos cultivos partieron de un inóculo inicial en forma de agregado (Al-Khayri, 2012).

4.5. Manual de manejo agronómico de café.

El valle de Intag es un sitio ideal para el cultivo de café de altura de calidad. El contenido del manual de manejo agronómico de café (Anexo 15), muestra la descripción de las condiciones agro-productivas y ambientales, para la optimización de la producción. Además, mediante la caracterización fenotípica, se logró identificar que las variedades que pueden encontrarse en la zona mantienen relación con linajes clásicos, cuyo material genético podría ser casi idéntico a linajes encontrados hace miles de años atrás, como es el caso del cultivar Typica (Anacafé, 2020).

Por último, la descripción de las variables identificadas en el manejo de las plantaciones mostró que gran parte de los productores emplean técnicas similares, tanto para la producción como para el cuidado orgánico. Esto se relaciona con la influencia de la Asociación AACRI, puesto que es la encargada de la búsqueda, evaluación y estandarización de metodologías que permitan mejorar las condiciones de los cultivos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Las características de cada variedad determinan la efectividad de los tratamientos con reguladores de crecimiento, por lo que las combinaciones y concentraciones de fitohormonas mostraron respuestas diferenciadas. El tratamiento más adecuado para la variedad Colombia fue F4, que logró un 75% de formación, mientras que para Caturra roja fue F6, el cual alcanzó un 73,3%,
- Los dos medios evaluados en la fase de multiplicación fueron efectivos para las células en suspensión de ambas variedades, observándose que las características pueden variar de acuerdo con la composición de cada tratamiento. Además, la viabilidad se logró mantener después de tres meses en condiciones de crecimiento controlado, lo que demuestra que los cultivos en suspensión son una alternativa favorable para conservar germoplasma de café a corto y mediano plazo.
- Las variedades de café arábigo cultivadas por los productores de Apuela son buenas fuentes de germoplasma, debido a que muchas de ellas corresponden a ejemplares clásicos sin mucha variabilidad genética y de excelentes cualidades organolépticas.
- El manual de manejo agronómico presenta una guía detallada de las estrategias productivas de los caficultores, así como de las condiciones agroecológicas de la localidad, siendo un vínculo para conectar a la comunidad local y externa con la actividad cafetera de Intag.

5.2. Recomendaciones.

- Para la desinfección, realizar el muestreo en épocas de baja humedad ambiental o lluvia disminuye la probabilidad de contaminación por la baja proliferación microbiana. Asimismo, realizar la introducción el mismo día que se realiza la recolección de muestras aumenta considerablemente la obtención de explantes viables, debido a que éstas están frescas.
- Evaluar la tolerancia de las variedades antes de aumentar las concentraciones de los reguladores de crecimiento permitiría optimizar respuestas y materiales, ya que cada variedad tiene características genóticas propias que les permiten

asimilar determinados niveles de fitohormonas exógenas antes de que puedan promover respuestas negativas.

- Para el establecimiento de medios líquidos en suspensión, se recomienda disgregar los callos antes de inocular los matraces, para aumentar el área de contacto con el medio y disminuir el tiempo de adaptación.
- La medición del aumento de biomasa durante la multiplicación en medio líquido puede determinarse por métodos más precisos en términos de mg/L, para comparar con certeza la eficiencia de los tratamientos.

Bibliografía

- AACRI. (2020). *Asociación agroartesanal de caficultores. Origen.* [Http://Aacri.Com/Origen/](http://Aacri.Com/Origen/).
- Abdelnour, A. (2012). *Micropropagación de especies forestales. Terminalia amazonia y validación y afinamiento del protocolo desarrollado para Vochysia spp.* .
- Ahmad, I., Hussain, T., Ashraf, I., Nafees, M., Rafay, M., & Iqbal, M. (2013). Lethal Effects of Secondary Metabolites on Plant Tissue Culture. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 13(4), 539–547.
- Ahmadpoor, F., Zare, N., Asghari, R., & Sheikhzadeh, P. (2022). Sterilization protocols and the effect of plant growth regulators on callus induction and secondary metabolites production in in vitro cultures *Melia azedarach* L. *AMB Express*, 12(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01343-8>
- Ahmed, S., Brinkley, S., Smith, E., Sela, A., Theisen, M., Thibodeau, C., Warne, T., Anderson, E., Van Dusen, N., Giuliano, P., Ionescu, K. E., & Cash, S. B. (2021). Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.708013>
- Ahmed, W., Feyissa, T., & Disasa, T. (2013). Somatic embryogenesis of a coffee (*Coffea arabica* L.) hybrid using leaf explants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(4), 469–475. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11512993>
- Albrecht, A., & Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1–3), 15–27. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5)
- Alfaro, O., Linares, N., & Bolaños, R. (2019). *Revisión de Estrategias Para el Manejo de la Broca del Café (Hypothenemus hampei) Para Enfrentar las Alteraciones Climáticas en los Sistemas de Producción de Café de Bajura (Coffea canephora), en Panamá, Honduras y Nicaragua.* (E. Saini, Ed.; Villeda, Miriam, Vol. 1). FONTAGRO.

- Al-Khayri, J. (2012). Determination of the date palm cell suspension growth curve, optimum plating efficiency, and influence of liquid medium on somatic embryogenesis. *Emir. J. Food Agric.*, 24(5), 444–455.
- Alvear, D. (2021). *Reconocimiento de la importancia y uso de bancos de germoplasma como fuente de genes para el mejoramiento genético de especies vegetales* [Tesis]. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Anacafé. (2020). *Guía de variedades de café* (3ra. ed).
- Aoyagi, H., Yokoi, H., & Tanaka, H. (1992). Measurement of fresh and dry densities of suspended plant cells and estimation of their water content. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 73(6), 490–496. [https://doi.org/10.1016/0922-338X\(92\)90144-J](https://doi.org/10.1016/0922-338X(92)90144-J)
- Arguello Pazmiño, A., Monar Solórzano, M., Alvarado Pacheco, E., & Arguello Pazmiño, V. (2021). L BANCO DE GERMOPLASMA COMO INSTRUMENTO CLAVE PARA LA SOBERANÍA ALIMENTARIA. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1), 112–121. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.148>
- Arneson, P. A. (2015). Coffee rust. *The Plant Health Instructor*. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2000-0718-02>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. <https://www.asambleanacional.gob.ec/es>.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico Ambiental*. https://www.ambiente.gob.ec/Wp-Content/Uploads/Downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.Pdf.
- Asegid, A. (2020). Impact of Climate Change on production and Diversity of Coffee (Coffea Arabica L) in Ethiopia . *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 31–38.
- Avila-Victor, C. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Arjona-Suárez, E. de J., Iracheta-Donjuan, L., Gómez-Merino, F. C., & Robledo-Paz, A. (2023). In Vitro Mass Propagation of Coffee Plants (Coffea arabica L. var. Colombia) through Indirect Somatic Embryogenesis. *Plants*, 12(6), 1237. <https://doi.org/10.3390/plants12061237>

- Azofeifa, Á. (2009). PROBLEMAS DE OXIDACIÓN Y OSCURECIMIENTO DE EXPLANTES CULTIVADOS in vitro. *Agronomía Mesoamericana*, 20(1), 153–175.
- Barrera, J. (2023). *Ficha Técnica Broca del Café: Hypothenemus hampei*.
- BCE. (2014). *Reporte de Coyuntura Sector Agropecuario*.
- Bedoya, J. C., Sánchez, C., Bermudez, S., & Restrepo, S. (2016). ESTANDARIZACIÓN DE UN PROTOCOLO DE DESINFECCIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE CULTIVO In vitro DE *Aloysia tryphilla*. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 38. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)38-46](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)38-46)
- Benavides, Z., Constantino, L., Villegas, C., & Giraldo, M. (2013). *Plagas del café: Broca, minador, cochinillas harinosas, arañita roja y monalonia* (Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura, Ed.; Cenicafé, Vol. 2). Federación Nacional de Cafeteros de Colombia,.
- Bharti, N., Kapoor, B., Shaunak, I., Sharma, P., & Sharma, R. (2018). Effect of sterilization treatments on in vitro culture establishment of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 6(5), 1165–1168.
- Bojórquez, E., Sánchez, L., & Gamboa, N. (2011). Effect of plant growth regulators on in vitro germination of coffee zygotic embryos. *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*, 10(82). <https://doi.org/10.5897/AJB11.2794>
- Bonga, J. M., & von Aderkas, P. (1992). *Collection, sterilization, excision and culture* (pp. 55–71). https://doi.org/10.1007/978-94-015-8058-8_4
- Bramel Paula, Krishnan Sarada, Horna Daniela, Lainoff Brian, & Montagnon Christophe. (2017). *Global conservation strategy for coffee genetic resources*. Crop Trust and World Coffee Research.
- Bucardo, C. (2015). *Impacto económico de la Roya (Hemileia vastatrix) del Café (Coffea arábica) en Nicaragua en los ciclos comprendidos entre el (2008/2009 – 2012/2013)* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional Agraria.

- Bulitta, B. J., & Duguma, L. A. (2021). The Unexplored Socio-Cultural Benefits of Coffee Plants: Implications for the Sustainable Management of Ethiopia's Coffee Forests. *Sustainability*, *13*(7), 3912. <https://doi.org/10.3390/su13073912>
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (n.d.). *Banco de Germoplasma de Semillas Ortodoxas*. Retrieved May 16, 2022, from <https://www.catie.ac.cr/en/banco-de-germoplasma-de-semillas-ortodoxas/>
- Cevallos, Á., Sánchez de Céspedes, I., Lalama, J., Echeverría, J., & Montes, S. (2018). *Embriogénesis somática de Coffea arabica L. Var. Caturra Rojo, Bourbón Cidra y SL-28, de plantaciones cafetaleras de la Provincia del Carchi, Zona 1, Ecuador*.
- Ciridhar, P., Indu, E. P., Ravishankar, G. A., & Chandrasekar, A. (2004). Influence of triacontanol on somatic embryogenesis in *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* P. ex Fr. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, *40*(2), 200–203. <https://doi.org/10.1079/IVP2003519>
- ClimateData. (2024). *Clima de Cotacachi, Ecuador*. <https://es.Climate-Data.Org/America-Del-Sur/Ecuador/Provincia-de-Imbabura/Cotacachi-25394/>.
- Coelho, N., Gonçalves, S., & Romano, A. (2020). Endemic Plant Species Conservation: Biotechnological Approaches. *Plants*, *9*(3), 345. <https://doi.org/10.3390/plants9030345>
- Columba, K. (2013). *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador*. Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Cortina, H., Acuña, J. R., Moncada, M. del P., Herrera, J. C., & Molina, D. M. (2013). Variedades de Café: Desarrollo de variedades. *Manual Del Cafetero Colombiano: Investigación y Tecnología Para La Sostenibilidad de La Caficultura.*, *1*, 169–202.
- Cotrina, G. (2014). *Manejo Agronómico del Cultivo de Café*.
- Craparo, A. C. W., Van Asten, P. J. A., Läderach, P., Jassogne, L. T. P., & Grab, S. W. (2015). *Coffea arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, *207*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.005>

- Davis, A. P., Chadburn, H., Moat, J., O'Sullivan, R., Hargreaves, S., & Nic Lughadha, E. (2019). High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Science Advances*, 5(1). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3473>
- Davis, A. P., Chester, M., Maurin, O., & Fay, M. F. (2007). Searching for the relatives of *Coffea* (Rubiaceae, Ixoroideae): the circumscription and phylogeny of Coffeae based on plastid sequence data and morphology. *American Journal of Botany*, 94(3), 313–329. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.3.313>
- Davis, A. P., Gole, T. W., Baena, S., & Moat, J. (2012). The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting Future Trends and Identifying Priorities. *PLoS ONE*, 7(11), e47981. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047981>
- de Almeida, D. P., Caixeta, E. T., Moreira, K. F., de Oliveira, A. C. B., de Freitas, K. N. P., & Pereira, A. A. (2021). Marker-assisted pyramiding of multiple disease resistance genes in coffee genotypes (*Coffea arabica*). *Agronomy*, 1763, 11.
- De Castro, R. D., & Marraccini, P. (2006). Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 175–199. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>
- Di Bonaventura, A., Marchetti, S., Petrusa, E., Braidot, E., Colomban, S., Navarini, L., & Zancani, M. (2024). A protocol for the development and maintenance of *Coffea arabica* (L.) cell suspension cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 158(3), 48. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02848-9>
- Diniz, I., Figueiredo, A., Loureiro, A., Batista, D., Azinheira, H., Várzea, V., Pereira, A. P., Gichuru, E., Moncada, P., Guerra-Guimarães, L., Oliveira, H., & Silva, M. do C. (2017). A first insight into the involvement of phytohormones pathways in coffee resistance and susceptibility to *Colletotrichum kahawae*. *PLOS ONE*, 12(5), e0178159. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178159>
- Dulloo, M. E., Guarino, L., Engelmann, F., Maxted, N., Newbury, J. H., Attere, F., & Ford-Lloyd, B. V. (1998). Complementary conservation strategies for the genus *Coffea*: A case study of Mascarene *Coffea* species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 45(6), 565–579. <https://doi.org/10.1023/A:1008621028343>

- Ebisa, D. B. (2017). Impacts of climate change on global coffee production industry: Review. *African Journal of Agricultural Research*, 12(19), 1607–1611. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12147>
- Echeverría, M. C., Ortega-Andrade, S., Obando, S., & Nuti, M. (2022). Scientific, Technical, and Social Challenges of Coffee Rural Production in Ecuador. In *Sustainable Agricultural Value Chain*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104747>
- Engelmann, F. (2011). Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 47(1), 5–16. <https://doi.org/10.1007/s11627-010-9327-2>
- Engelmann, F. (2012). Germplasm collection, storage, and conservation. In *Plant Biotechnology and Agriculture* (pp. 255–267). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381466-1.00017-1>
- Engelmann, F., Dulloo, M., Astorga, C., Dussert, S., & Anthony, F. (2007). Complementary strategies for ex situ conservation of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources. In *Topical reviews in Agricultural Biodiversity*.
- Espinoza, S. (2022). *PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE CAFÉ (Coffea Arabica L.) EN LA ASOCIACIÓN AGROARTESANAL DE CAFICULTORES RÍO INTAG “AACRI” DE LA ZONA DE INTAG, CANTÓN COTACACHI* [Tesis]. Universidad Técnica del Norte.
- Etienne, H. (2005). Somatic Embryogenesis Protocol: Coffee (*Coffea arabica* L. and *C. canephora* P.). In S. M. Jain & P. K. Gupta (Eds.), *Protocol for Somatic Embryogenesis in Woody Plants* (Vol. 77, pp. 167–179). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/1-4020-2985-3_14
- Farfán, F. (2007). Producción de café en sistemas agroforestales. In H. Ospina & S. Marín (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (Primera, pp. 162–200). FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA.
- Fernández, F. (2017). *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo del cultivo de café robusta (Coffea canephora P.)*.

- Fernández, F. (2018). *Efecto de reguladores de crecimiento en la inducción de callo embriogénico en láminas foliares de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN 51 establecidas in vitro*. Escuela Agrícola Panamericana.
- Fu, Y. (2017). The Vulnerability of Plant Genetic Resources Conserved Ex Situ. *Crop Science*, 57(5), 2314–2328. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.01.0014>
- GAD-Antonio Ante. (2022). *Información general de Antonio Ante*.
- GAD-Santa Ana de Cotacachi. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Canton Santa Ana de Cotacachi*.
- Gakuo, P. (2022, October 15). *¿Cómo es el cultivo de café silvestre?*
- Gantait, S., & Sinniah, U. R. (2014). In vitro direct rhizogenesis from *Gerbera jamesonii* Bolus leaf. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(11), 3081–3087. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1643-4>
- Gao, F., Peng, C., Wang, H., Shen, H., & Yang, L. (2021). Selection of culture conditions for callus induction and proliferation by somatic embryogenesis of *Pinus koraiensis*. *Journal of Forestry Research*, 32(2), 483–491. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01147-1>
- García, J., & Quezada, A. del C. (2021). La asociatividad, sustentabilidad y certificaciones en la producción cafetalera en el sur del Ecuador. *Revista de Coyuntura y Perspectiva*, 6(2).
- Gobierno del Ecuador. (2024). *Plan Nacional de Desarrollo*. <https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-desarrollo-para-el-nuevo-ecuador-2024-2025/>.
- Gole, T. W., Borsch, T., Denich, M., & Teketay, D. (2008). Floristic composition and environmental factors characterizing coffee forests in southwest Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2138–2150. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.028>
- Gole, T. W., Denich, M., Teketay, D., & Vlek, P. L. G. (2002). Human impacts on the *Coffea arabica* gene pool in Ethiopia and the need for its *in situ* conservation. In *Managing plant genetic diversity. Proceedings of an international conference, Kuala*

- Lumpur, Malaysia, 12-16 June 2000* (pp. 237–247). CABI Publishing.
<https://doi.org/10.1079/9780851995229.0237>
- Gómez, S. (2024). *Guía de Fertilización del Café. Cultivo Sostenible y Productivo*.
<https://Quecafe.Info/Guia-Fertilizacion-Cafe-Intensificacion-Sostenible/>.
- Gonzalez Benito, M. E., Clavero-Ramirez, I., & López-Aranda, J. M. (2004). Review. The use of cryopreservation for germplasm conservation of vegetatively propagated crops. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(3), 341.
<https://doi.org/10.5424/sjar/2004023-88>
- Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Altieri, M. A. (2004). Ecological engineering: a new direction for agricultural pest management. *Australian Farm Business Management Journal*, 1, 28–31.
- Gutiérrez, B., & Koch, L. (2015). CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA EX SITU: PROTOCOLOS Y ESTRATEGIAS PARA LA MANTENCIÓN DE UN BANCO IN VITRO. *Ciencia e Investigación Forestal INFOR*, 21(1), 69–82.
- Haque, S. M., & Ghosh, B. (2014). Somatic Embryogenesis and Synthetic Seed Production—a Biotechnological Approach for True-to-Type Propagation and In Vitro Conservation of an Ornamental Bulbaceous Plant *Drimiopsis kirkii* Baker. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172(8), 4013–4024.
<https://doi.org/10.1007/s12010-014-0817-2>
- Harahap, R. H., & Humaizi. (2019). Socio-cultural-based coffee management in Karo Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 374(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012032>
- Herrera, J. C., & Cortina, H. (2013). Taxonomía y clasificación del café. In *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 117–121). Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- Imarhiagbe, O., Osazee, J., Aiwansoba, R., & Shittu, O. (2016). In vitro Germplasm collection and storage: A review. *International Journal of Biology Research*, 1(1), 10–15.

- INEC. (2023). *Manual del Encuestador, Supervisor, Digitador* (ESPAC). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.
- INIAP. (2004). *Programa de Cacao y Café en la Estación Experimental Portoviejo* (pp. 1–20).
- Ji, D., Wang, Q., Lu, T., Ma, H., & Chen, X. (2022). The effects of ultrasonication on the phytochemicals, antioxidant, and polyphenol oxidase and peroxidase activities in coffee leaves. *Food Chemistry*, *373*, 131480. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131480>
- Jibat, M. (2020). Review on resistance breeding methods of coffee leaf rust in Ethiopia. . *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, *7*, 32–41.
- Klein, A. -M., Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. (2003). Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *Journal of Applied Ecology*, *40*(5), 837–845. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00847.x>
- Koutouleas, A., Collinge, D. B., & Ræbild, A. (2023). Alternative plant protection strategies for tomorrow's coffee. *Plant Pathology*, *72*(3), 409–429. <https://doi.org/10.1111/ppa.13676>
- Krishnan, S. (2011). COFFEE BIOTECHNOLOGY: IMPLICATIONS FOR CROP IMPROVEMENT AND GERMPLASM CONSERVATION. *Acta Horticulturae*, *894*, 33–44. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.894.2>
- Krishnan, S. (2022). Coffee: Genetic Diversity, Erosion, Conservation, and Utilization. In *Cash Crops* (pp. 55–80). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74926-2_3
- Kumar, V. (2005). *Genetic transformation studies on Coffea sp.* [Postgraduate]. University of Mysore.
- Legislativo, D. (2008). CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). www.lexis.com.ec
- Leifert, C., Morris, C. E., & Waites, W. M. (1994). Ecology of Microbial Saprophytes and Pathogens in Tissue Culture and Field-Grown Plants: Reasons for Contamination

- Problems *In Vitro*. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13(2), 139–183.
<https://doi.org/10.1080/07352689409701912>
- Lezaun, J. (2016). *Broca del café, el enemigo principal de los cafetales*. Plagas.
- Lin, B. B., Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008). Synergies between Agricultural Intensification and Climate Change Could Create Surprising Vulnerabilities for Crops. *BioScience*, 58(9), 847–854. <https://doi.org/10.1641/B580911>
- López, P., Iracheta, L., Castellanos, M., Méndez, I., Sandoval, A., Aguirre, J., Ojeda, M. C., & Gutiérrez, A. (2010). Influencia del explante y medio de cultivo en la embriogénesis somática en hojas de café. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3).
- Martins, M. Q., Partelli, F. L., Golynski, A., de Sousa Pimentel, N., Ferreira, A., de Oliveira Bernardes, C., Ribeiro-Barros, A. I., & Ramalho, J. C. (2019). Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. *Scientia Horticulturae*, 252, 238–242. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.044>
- Mayerni, R., Satria, B., Wardhani, D., & Chan, S. (2020). Effect of auxin (2,4-D) and cytokinin (BAP) in callus induction of local patchouli plants (*Pogostemon cablin* Benth.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 583(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/583/1/012003>
- Mazri, M. A., & Belkoura, I. (2021). Effect of plant growth regulators and malt extract on somatic embryogenesis and in vitro grafting of Citrus plants. *African and Mediterranean Agricultural Journal Al Awamia*, 130, 1–16.
- Mihaljevic, I., Dugalic, K., Tomas, V., Viljevac, M., Pranjic, A., Cmelik, Z., Puskar, B., & Jurkovic, Z. (2013). In vitro sterilization procedures for micropropagation of ‘oblacinska’ sour cherry. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 58(2), 117–126. <https://doi.org/10.2298/JAS1302117M>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador*. Comercio Exterior-Café.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*, 9(10), 490–498. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009>

- Mohan, J., & Pramod, G. (2005). *Protocol for Somatic Embryogenesis in Woody Plants*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2985-3>
- Molina, D. M., Aponte, M. E., Cortina, H., & Moreno, G. (2002). The effect of genotype and explant age on somatic embryogenesis of coffee. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 71(2), 117–123. <https://doi.org/10.1023/A:1019965621041>
- Montes, S. (1982). Cultivo in vitro de embriones de Coffea arabica L. Variedad Caturra. *Cultivos Tropicales*, 4(1), 49–55.
- Mwaniki, W. I., Lubabali, A. H., Asava, K. K., Agwanda, C. O., & Anami, S. E. (2019). Effects of genotype and plant growth regulators on callus induction in leaf cultures of Coffea arabica L. F1 hybrid. *African Journal of Biotechnology*, 18(31), 1004–1015. <https://doi.org/10.5897/AJB2019.16913>
- Myers, R., Mello, C., Nagai, C., Sipes, B., & Matsumoto, T. (2023). Evaluation of Coffea arabica Cultivars for Resistance to Meloidogyne konaensis. *Agriculture*, 13(6), 1168. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061168>
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>.
- Naciones Unidas-PNUMA. (2011). *El Protocolo de Nagoya sobre el acceso a los recursos genéticos*. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Narváez, J. L., Villacrés, A. R., & Mendoza, F. (2010). <https://doi.org/10.18779/cyt.v15i2.582>. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Navarrete Karla. (2014). *Estudio de factibilidad para la creación de nuevas cafeterías de la Asociación Agroartesanal de Caficultores “Río Intag”-AACRI para las ciudades de Otavalo y Urcuquí* [Trabajo de grado]. Universidad Técnica del Norte.
- Negash, A., Krens, F., Schaart, J., & Visser, B. (2001). In vitro conservation of enset under slow-growth conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 66(2), 107–111. <https://doi.org/10.1023/A:1010647905508>
- Nigam, P. S., & Singh, A. (2014). Cocoa and Coffee Fermentations. In *Encyclopedia of Food Microbiology* (pp. 485–492). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00074-4>

- Organización de las Naciones Unidas-FAO. (2004). *Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/plant-treaty/es/>
- Organización Internacional de Café. (2016, November 30). *El Estado Actual del Comercio Mundial de Café*. Estadísticas Del Comercio de Café.
- Panis, B., Nagel, M., & Van den houwe, I. (2020). Challenges and Prospects for the Conservation of Crop Genetic Resources in Field Genebanks, in In Vitro Collections and/or in Liquid Nitrogen. *Plants*, 9(12), 1634. <https://doi.org/10.3390/plants9121634>
- Pasternak, T. P., & Steinmacher, D. (2024). Plant Growth Regulation in Cell and Tissue Culture In Vitro. *Plants*, 13(2), 327. <https://doi.org/10.3390/plants13020327>
- Patay, É. B., Bencsik, T., & Papp, N. (2016). Phytochemical overview and medicinal importance of Coffea species from the past until now. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 9(12), 1127–1135. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.11.008>
- Perera, S., Hernández, J., Piedra, A., & Duque, M. (2012). EFICACIA in vitro DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO SOBRE ESPECIES FÚNGICAS COMPONENTES DEL COMPLEJO DE LA PUDRICIÓN DE CORONA (crown rot) DEL PLÁTANO.
- Piaggugue, D. (2023). INJERTACIÓN EN PLANTAS ADULTAS DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora*) COMO PRÁCTICA DE REHABILITACIÓN DE CAFETALES, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS [TESIS]. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ .
- Ponce, L., Acuña, I., Proaño, W., & Orellana, K. (2018). El sistema agroforestal cafetalero. Su importancia para la seguridad agroalimentaria y nutricional en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(1).
- Ponce, L., Orellana, K., Acuña, I., Alfonso, J., & Fuentes, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Revista Estudios Del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 6(1).
- Prakash, N. S., Devasia, J., Jayarama, & Aggarwal, R. K. (2015). Coffee Industry in India. In *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 61–70). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00008-5>

- Prefectura de Imbabura. (2023). *EL CAFÉ DE IMBABURA SE MUESTRA ENTRE LO MÁS DESTACADO DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL*.
- Priyanka, V., Kumar, R., Dhaliwal, I., & Kaushik, P. (2021). Germplasm Conservation: Instrumental in Agricultural Biodiversity—A Review. *Sustainability*, *13*(12), 6743. <https://doi.org/10.3390/su13126743>
- Quazi, S., Golani, T., & Martino Capuzzo, A. (2021). Germplasm Conservation. In *Endangered Plants* (pp. 124–144). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96184>
- Rajasekharan, P. E., & Sahijram, L. (2015). In Vitro Conservation of Plant Germplasm. In *Plant Biology and Biotechnology* (pp. 417–443). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2283-5_22
- Rajpurohit, D., & Jhang, T. (2015). In Situ and Ex Situ Conservation of Plant Genetic Resources and Traditional Knowledge. In *Plant Genetic Resources and Traditional Knowledge for Food Security* (pp. 137–162). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0060-7_8
- Ribeiro, I. G., Castro, T. C. de, Coelho, M. G. P., & Albarello, N. (2021). Effects of different factors on friable callus induction and establishment of cell suspension culture of *Hovenia dulcis* (Rhamnaceae). *Rodriguésia*, *72*. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202172105>
- Rojas-Vásquez, R., Zuñiga-Umaña, J. M., Abdelnour-Esquivel, A., Hernández-Soto, A., & Gatica-Arias, A. (2022). Development of synthetic seeds in Arabica coffee embryos under aseptic and non-aseptic conditions. *Vegetos*, *35*(3), 839–849. <https://doi.org/10.1007/s42535-022-00364-9>
- Romano, P. (2023). *Directrices CABRI*. Procedimientos de Laboratorio Para Líneas Celulares Vegetales.
- Rukhsar, A. D., Mushtaq, A., Sanjay, K., & Monica, R. (2015). Agriculture germplasm resources: A tool of conserving diversity. *Scientific Research and Essays*, *10*(9), 326–338. <https://doi.org/10.5897/SRE2015.6206>
- Ryu, D., & Romani, R. (1990). Determination of Growth Rate for Plant Cell Cultures: Comparative Studies. *Biotechnology and Bioengineering*, *35*, 305–311.

- Sabogal, H. (2024). *ESPECIES Y VARIEDADES DE CAFÉ MÁS CULTIVADAS EN EL MUNDO*.
- Salojärvi, J., Rambani, A., Yu, Z., Guyot, R., Strickler, S., Lepelley, M., Wang, C., Rajaraman, S., Rastas, P., Zheng, C., Muñoz, D. S., Meidanis, J., Paschoal, A. R., Bawin, Y., Krabbenhoft, T. J., Wang, Z. Q., Fleck, S. J., Aussel, R., Bellanger, L., ... Descombes, P. (2024). The genome and population genomics of allopolyploid *Coffea arabica* reveal the diversification history of modern coffee cultivars. *Nature Genetics*, 56(4), 721–731. <https://doi.org/10.1038/s41588-024-01695-w>
- Santana, N., Martínez, O., & González, M. (1998). Embriogénesis somática en el cultivo del cafeto (*Coffea arabica*). *Cultivos Tropicales*, 10(2), 36–43.
- Sartor, R. M., & Mazzafera, P. (2000). Caffeine formation by suspension cultures of *Coffea dewevrei*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 43(1). <https://doi.org/10.1590/S1516-89132000000100009>
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (1992). *Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>.
- Shigueoka, L. H., Sera, G. H., Sera, T., Fonseca, I. C. de B., Mariucci Junior, V., Andreazi, E., Carvalho, F. G., Gardiano, C. G., & Carducci, F. C. (2014). Seleção de progênies de café arábica com resistência à ferrugem alaranjada. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 14(2), 88–93. <https://doi.org/10.1590/1984-70332014v14n2a16>
- Statista. (2024). *Industria del café en América Latina - Datos estadísticos*. Mercado Del Café: Producción En América Latina Por País 2023/24. <https://es.statista.com/estadisticas/1283977/produccion-de-cafe-en-america-latina/>.
- Teixeira da Silva, J. A., Winarto, B., Dobránszki, J., Cardoso, J. C., & Zeng, S. (2016). Tissue disinfection for preparation of *Dendrobium in vitro* culture. *Folia Horticulturae*, 28(1), 57–75. <https://doi.org/10.1515/fhort-2016-0008>
- Tesfaye, K., Govers, K., Bekele, E., & Borsch, T. (2014). ISSR fingerprinting of *Coffea arabica* throughout Ethiopia reveals high variability in wild populations and distinguishes them from landraces. *Plant Systematics and Evolution*, 300(5), 881–897. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0927-2>

- Torres, L. F., Pádua, M. S., Livramento, K. G. do, Diniz, L. E. C., & Paiva, L. V. (2018). Histological Analyses Reveal Promising Features in *Coffea arabica* Cell Suspension Culture. *Journal of Experimental Agriculture International*, 25(5), 1–12. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/43350>
- Valencia Carreño, L., Sornoza Vélez, Lady, Corozo-Quiñónez, L., Sánchez Mora, F., Peña Monserrate, G., & Salas-Macías, C. (2022). Recursos genéticos de variedades de cacao tipo Nacional en Ecuador: una revisión sistemática. *Ciencia y Tecnología*, 15(2), 31–44. <https://doi.org/10.18779/cyt.v15i2.582>
- Van Boxtel, J., & Berthouly, M. (1996). High frequency somatic embryogenesis from coffee leaves. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 44(1), 7–17. <https://doi.org/10.1007/BF00045907>
- Van der Vossen, H., Bertrand, B., & Charrier, A. (2015). Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. *Euphytica*, 204(2), 243–256. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1398-z>
- Van Staden, J., Fennell, C. W., & Taylor, N. J. (2006). PLANT STRESS IN VITRO: THE ROLE OF PHYTOHORMONES. *Acta Horticulturae*, 725, 55–62. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.725.2>
- Velásquez, R. (2021). *Guía de variedades de café y selección de semilla* (Cuarta edición, pp. 1–71). Anecafé.
- Vondrakova, Z., Dobrev, P. I., Pesek, B., Fischerova, L., Vagner, M., & Motyka, V. (2018). Profiles of Endogenous Phytohormones Over the Course of Norway Spruce Somatic Embryogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01283>
- World Coffee Research. (2024). *Catálogo de variedades de café*. <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/about-the-catalog/que-esta-incluido>.

ANEXOS

Anexo 1

Análisis de la varianza para “tratamientos” con H₂O₂, variedad Colombia.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	122,37	10	12,24	3,82	0,0085
Repetición	12,07	2	6,04	1,88	0,1841
Tratamiento	110,30	8	13,79	4,30	0,0063
Error	51,26	16	3,20		
Total	173,63	26			

Anexo 2

Análisis de la varianza para “tratamientos” con H₂O₂, variedad C. roja.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	131,56	10	13,16	4,47	0,0040
Repetición	11,56	2	5,78	1,96	0,1729
Tratamiento	120,00	8	15,00	5,09	0,0028
Error	47,11	16	2,94		
Total	178,67	26			

Anexo 3

Análisis de la varianza para “explantes sanos”, variedad Colombia.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	122,37	10	12,24	3,82	0,0085
Concentración	93,41	2	46,70	14,58	0,0002
Tiempo	11,19	2	5,59	1,75	0,2062
Repetición	12,07	2	6,04	1,88	0,1841
Conc.xTiemp.	5,70	4	1,43	0,45	0,7744
Error	51,26	16	3,20		
Total	173,63	26			

Anexo 426

Análisis de la varianza para “explantes sanos”, variedad C. roja.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	131,56	10	13,16	4,47	0,0040
Concentración	72,67	2	36,33	12,34	0,0006
Tiempo	9,56	2	4,78	1,62	0,2282
Repetición	11,56	2	5,78	1,96	0,1729
Conc.xTiemp.	37,78	4	9,44	3,21	0,0410
Error	47,11	16	2,94		
Total	178,67	26			

Anexo 5*Análisis de la varianza para “explantes fenolizados”, variedad Colombia.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	35,93	10	3,59	4,13	0,0059
Concentración	21,63	2	10,81	12,43	0,0006
Tiempo	8,07	2	4,04	4,64	0,0258
Repetición	1,41	2	0,70	0,81	0,4629
Conc.xTiemp.	4,81	4	1,20	1,38	0,2840
Error	13,93	16	0,87		
Total	49,85	26			

Anexo 6*Análisis de la varianza para “explantes fenolizados”, variedad C. roja.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45,26	10	4,53	2,40	0,0571
Concentración	3,19	2	1,59	0,85	0,4478
Tiempo	16,07	2	8,04	4,27	0,0328
Repetición	9,85	2	4,93	2,61	0,1041
Conc.xTiemp.	16,15	4	4,04	2,14	0,1226
Error	30,15	16	1,88		
Total	75,41	26			

Anexo 7*Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes sanos”, Colombia.*

Concentración (%)	Medias	n	EE	
2	0,58	9	0,03	A
1,5	0,47	9	0,03	B
1	0,35	9	0,03	C

Anexo 8*Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes sanos”, C. roja.*

Concentración (%)	Medias	n	EE	
2	0,45	9	0,03	A
1,5	0,37	9	0,03	A
1	0,25	9	0,03	B

Anexo 9

Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes fenolizados”, Colombia.

Concentración (%)	Medias	n	EE	
2	3,33	9	0,31	A
1	1,56	9	0,31	B
1,5	1,33	9	0,31	B

Anexo 10

Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes fenolizados”, C. roja.

Concentración (%)	Medias	n	EE	
2	0,16	9	0,02	A
1,5	0,11	9	0,02	A B
1	0,06	9	0,02	B

Anexo 11

Comparaciones ortogonales para tiempo de exposición en “explantes fenolizados”, Colombia.

Tiempo (min)	Medias	n	EE	
20	2,78	9	0,31	A
10	2,00	9	0,31	A B
15	1,44	9	0,31	B

Anexo 12

Comparaciones ortogonales para concentraciones en “explantes fenolizados”, C. roja.

Tiempo (min)	Medias	n	EE	
20	0,15	9	0,02	A
15	0,09	9	0,02	A
10	0,08	9	0,02	A

Anexo 13

Valores del T de Student para muestras independientes con las variedades

	Colombia	C. roja
Variable de clasificación	Concentración (mg/L)	Concentración (mg/L)
Variable de respuesta	Raíz peso seco (mg)	Raíz peso seco (mg)
T (bilateral)	-2,54	-1,49
p-valor	0,0235	0,1683



**ENCUESTA PARA CAFICULTORES PERTENECIENTES A AACRI DE LA
COMUNIDAD SANTA ROSA**

IDENTIFICACIÓN DE VARIEDADES DE CAFÉ CULTIVADAS EN LA LOCALIDAD

Esta encuesta tiene fines completamente investigativos y por ningún motivo será empleada con otros propósitos.

Encuesta N°: Día: Fecha: Hora:

1. Información general:

1.1. Nombre del encuestado: _____

1.2. Edad: _____

1.3. Estado civil: _____

2. Datos geográficos:

2.1. Locación/coordenadas referenciales:

• Latitud: _____

• Longitud: _____

2.2. Altitud: _____

2.3. Relieve del terreno: _____

3. Datos de las plantaciones.

3.1. ¿Cuál es el área cultivada? _____

3.2. ¿Qué variedades de café son cultivadas?

3.3. ¿Cuál es la edad aproximada de la plantación? _____

3.4. ¿Cuántas plantas de café tiene cultivadas? _____

3.5. ¿Cómo maneja el sistema agroforestal?

3.6. ¿Qué beneficios observa con las especies arbóreas que utiliza para la sombra?



3.7. ¿Qué enfermedades dificultan el cultivo de café?

3.8. ¿Cómo controla el apareamiento de enfermedades?

3.9. ¿Qué plagas dificultan la producción?

3.10. ¿Cómo controla las plagas?

3.11. ¿A qué distancia desde el suelo realizó la poda de formación?

3.12. ¿Cómo realiza la poda de saneamiento?

3.13. ¿Cómo realizó la poda de renovación?

3.14. ¿Cómo fertiliza la plantación?

3.15. ¿Qué residuos orgánicos usa para compost?

3.16. ¿Con qué frecuencia fertiliza el cultivo?

Anexo 15

Manual de manejo agronómico orgánico de café.

Acceso digital: [Manual Agronómico Café de Apuela, Intag.pdf](#)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



PRÁCTICAS AGRONÓMICAS PARA MANEJO DE CAFÉ EN EL VALLE DE INTAG

2025





Créditos

Elaborado por:

Edwin J. Tituaña Solano

Revisión:

MSc. Tania S. Villamarín. PhD.

MSc. Sania M. Ortega Andrade.

Universidad Técnica del Norte-Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Ibarra, Imbabura.

Asociación Agro Artesanal de Caficultores Río Intag (AACRI). Apuela, Intag, Cotacachi, Imbabura.

Agradecimientos

A los socios caficultores de la parroquia de Apuela por compartir sus experiencias y conocimientos sobre sus cultivos para la realización del presente documento.

Al personal técnico de la asociación por brindar su apoyo para la investigación.

Al personal docente por las revisiones durante la elaboración.

Ibarra - Ecuador

Febrero 2025



CONTENIDO



PRÁCTICAS AGRONÓMICAS PARA MANEJO DE CAFÉ EN EL VALLE DE INTAG

Presentación	1
1. Aspectos generales: condiciones agroecológicas.	2
1.1. Altitud	2
1.2. Precipitaciones	3
1.3. Temperatura	4
1.4. Humedad relativa	5
1.5. Viento	6
2. Variedades cultivadas	7
2.1. Caturra rojo	8
2.2. Caturra amarillo	9
2.3. Tipica criollo	10
2.4. Tipica mejorado	11
3. Manejo orgánico de las plantaciones	12
3.1. Sistemas agroforestales	13
3.2. Poda del cafeto	14
3.3. Deshija post-podación	16
3.4. Fertilización orgánica	17
3.4.1. Fertilización diluida	18
3.4.2. Fertilización sólida	19
4. Plagas comunes del café arábigo	22
4.1. Broca del café	22
4.2. Minador de la hoja	23
5. Principales enfermedades	24
5.1. Roya	24
5.2. Mal de hilachas	24
5.3. Ojo de gallo	25
5.4. Antracnosis	25
5.5. Control de enfermedades	26
6. Referencias bibliográficas	28
7. Anexos	31



PRESENTACIÓN

En el valle de Intag, cantón Cotacachi, se cultiva café arábigo de altura de gran calidad, como resultado de las condiciones ambientales propias de la región, así como años de experiencia y desarrollo de habilidades por parte de los productores. Estas técnicas les permitieron afrontar las adversidades que impactan negativamente sus plantaciones año tras año, con la finalidad de mantener sus cultivos en buenas condiciones. La siembra de café es la principal fuente de subsistencia de muchos pobladores de la zona, llegando incluso hasta mercados internacionales, donde es reconocido por sus excelentes características.

El presente trabajo tiene como finalidad establecer un vínculo para el intercambio de conocimientos entre los miembros de la comunidad, que ayude a mejorar la productividad del café, así como describir técnicas agrícolas alternativas, que promuevan el desarrollo económico de las familias a su alrededor.



1

ASPECTOS GENERALES: CONDICIONES AGROECOLÓGICAS

1.1

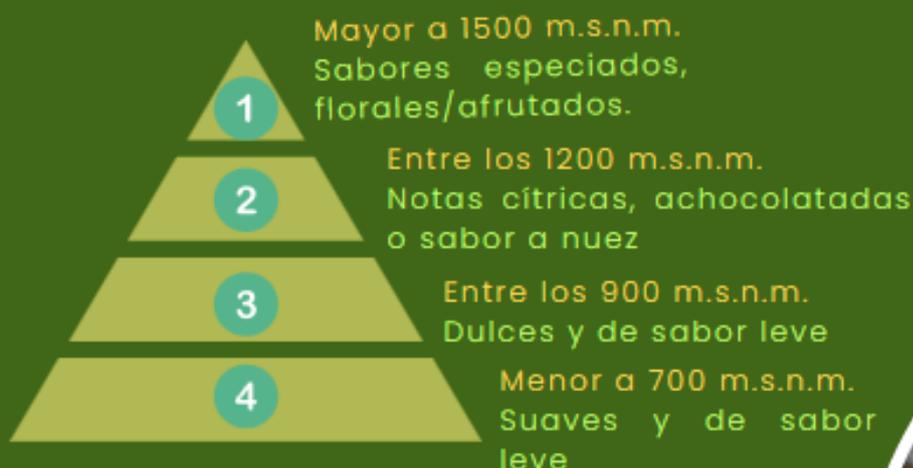
ALTITUD

El café se puede cultivar desde los 700 hasta más de 2000 m.s.n.m., dependiendo de la especie. La altura en la que se encuentre puede influir directamente en la productividad y características del grano. Debido a esto, en zonas ecuatoriales de clima tropical donde se cultiva café arábigo, mientras mayor sea la altitud, mayor será la cosecha y calidad del café.

Apuela se ubica entre los 1600 a 2000 m.s.n.m. y posee clima templado sub-andino sub-tropical, por lo que su producto posee un sabor especial, el cual puede describirse por uno de las clasificaciones encontradas en la figura 1.

Figura 1.

Perfiles de sabor de granos café según la altura del cultivo.





1.2

PRECIPITACIONES

El rango óptimo está entre 1500-2000 mm/año para café arábigo y 2000-3000 mm/año para robusta. Su influencia está relacionada con la etapa del cultivo y los ciclos de recolección. Si durante la cosecha las precipitaciones son **altas**, aumenta la probabilidad de daño por plagas y enfermedades. Asimismo, si son **bajas** en etapas finales de crecimiento, pueden ocasionar que los granos sean pequeños y subdesarrollados en el siguiente periodo.

Las precipitaciones medias anuales en Apuela son de 1000 a 3000 mm. Sin embargo, los patrones pueden verse alterados debido a los efectos del cambio climático.



¿QUÉ HACER?

Los cambios en los patrones ambientales impulsan la adopción de prácticas más **sostenibles y climáticamente inteligentes**, para mitigar efectos adversos emergentes, entre ellas:

CULTIVOS DE COBERTURA

SISTEMAS AGROFORESTALES

MANEJO ORGÁNICO

VARIEDADES MÁS RESISTENTES



1.3

TEMPERATURA

El rango óptimo de temperatura para el cultivo es de **24-30°C** para café arábigo y **15-24°C** para robusta.

La exposición prolongada por encima o por debajo de estos valores ocasionan problemas en el florecimiento, desarrollo incompleto, así como maduración acelerada o nula del fruto. Otras consecuencias son la presencia de hojas con clorosis y mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades.

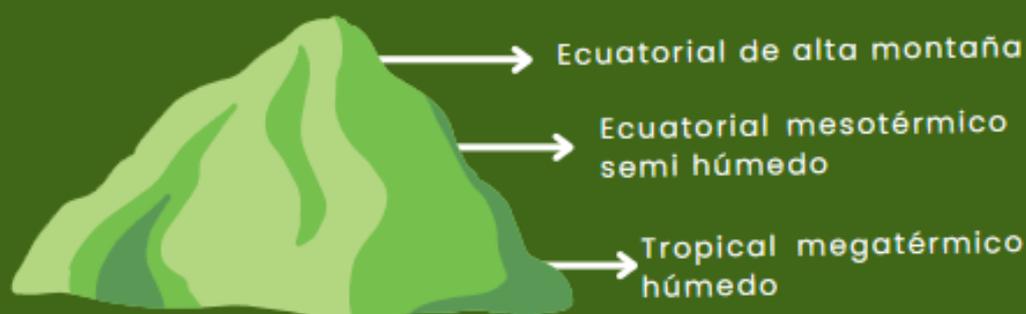
Las variedades de café arábigo son más sensibles a las temperaturas altas, mientras que las de café robusta a las bajas (menores a 18°C).



La temperatura en la parroquia de Apuela oscila los 23-30°C, con diversos pisos climáticos (Figura 2) donde esta puede variar notablemente.

Figura 2.

Tipos de clima de la región andina.





1.4

HUMEDAD RELATIVA

En toda la zona de Apuela se registra un promedio de humedad relativa anual cercana al 80%.

Los valores óptimos para el cultivo de café están entre 60-80%. La calidad del fruto será mejor mientras más cercano se encuentre al límite superior. No obstante, valores fuera de los límites disminuyen la productividad, provocan crecimiento desregulado y mayor incidencia de enfermedades fúngicas.



La humedad es un factor muy difícil de controlar. Sin embargo, se pueden adoptar prácticas de regulación como el manejo adecuado del sombreado, control regulado de malezas y la siembra organizada.





1.5

VIENTO

Los vientos superiores a 10 Km/h pueden provocar desecación y daño en las plantas, como defoliaciones, caída de flores inmaduras y ruptura de ramas. Esto puede afectar el rendimiento en la fructificación. Además, los vientos promueven un mayor esparcimiento de enfermedades.

Los vientos en la región promedian velocidades de 5-10 Km/h. No obstante, el relieve del terreno cultivado en Apuela, en su mayor parte, es de tipo inclinado y protegido por montañas, por lo que este factor no tiene gran influencia. Sin embargo, entre los meses de junio y agosto pueden suscitarse algunos con velocidades de 10-20 Km/h.

Los cultivos asociados con especies arbóreas de banano y guabo, utilizados por los productores, son una buena manera de mitigar los efectos de los fuertes vientos, ya que actúan como una barrera física que protege los cafetales.





2 VARIEDADES CULTIVADAS

En el valle de Intag se siembra café arábigo de altura desde hace aproximadamente 25 años, por lo que en la región pueden encontrarse ejemplares longevos, así como otros relativamente nuevos. Las variedades cultivadas son conocidas por producir frutos de excelentes características, que dan como resultado una bebida de alta calidad. Entre las variedades identificadas podemos encontrar las siguientes:



CATURRA ROJO



CATURRA AMARILLO



TÍPICA CRIOLLO



TÍPICA MEJORADA



2.1 CATURRA ROJA

Son plantas de porte bajo (promedio de 1,8 m) y abundante follaje. Sus hojas maduras son grandes y anchas, de color verde intenso. Sus hojas emergentes tienen un color más claro. Su tallo es grueso, con entrenudos cortos y abundantes ramificaciones secundarias. Sus frutos son rojos, de tamaño promedio y de forma aplanada.



La altitud óptima para obtener la mayor calidad y producción de esta variedad depende de la latitud. Se adapta bien en entornos a partir de los 600 m.s.n.m., pero los pisos mayores a 1300 m.s.n.m. son ideales para destacar su potencial de calidad. El rendimiento de esta variedad es bueno (1500-3000 Kg/ha), pero tiene alta susceptibilidad a la roya (*Hemileia vastatrix*) antracnosis del cerezo (*Colletotrichum coffeanum*), nemátodos, entre otros.

Su producción comienza al tercer año luego de la siembra y el tiempo de maduración de los frutos es de 9 meses desde la floración. Puede sembrarse a una densidad de hasta 5000 plantas/ha, pero sus cuidados y requerimientos nutricionales son altos. A pesar de su tolerancia a la sequía, vientos, exposición solar y temperaturas altas, en muchas regiones esta variedad fue reemplazada por cultivares resistentes y de mejor producción.



La bebida producida con sus granos se considera de alta calidad, presentando un sabor suave y dulce, con notas florales aromáticas, cuerpo ligero y acidez equilibrada.



2.2 CATURRA AMARILLA

Sus características son similares a las de Caturra rojo, en términos de condiciones de crecimiento y calidad. El color amarillo característico de sus frutos se debe a un gen recesivo que también le confiere a la semilla una textura más dura.



Sus frutos tienden a madurar más rápido, pudiendo cosecharse en menor tiempo. También su sabor es más suave, tiene menor acidez y un olor frutal más destacado que los frutos de Caturra rojo.



2.3 TYPICA CRIOLLO

Son plantas de porte alto (puede alcanzar los 4m). Sus hojas maduras tienen forma elíptica y son de color verde oscuro. Sus hojas emergentes tienen un color bronceado brillante. Su tallo es único y flexible, con entrenudos de granos extensos y largas ramificaciones secundarias. Sus frutos son grandes y alargados de color rojo.

Su presencia en Ecuador data de 1860 y es genéticamente muy similar al arábigo original, como descendiente directo de Typica (poca variabilidad genética).

Esta variedad se adapta bien en alturas de más de 1500 m.s.n.m. Su rendimiento es bajo y la maduración de sus frutos lento. Además, es altamente susceptible a las plagas y enfermedades. Sin embargo, su calidad es excepcional.

Su producción comienza a partir del cuarto año luego de la siembra y sus requerimientos nutricionales son intermedios.

Tiene buena tolerancia a la sequía, viento y se adapta bien a bajas temperaturas. No obstante, esta variedad también está siendo reemplazado por otras mejoradas en muchas regiones del mundo. Actualmente aún es muy cultivada en Perú, República Dominicana y Jamaica.

Esta variedad es una de las más importante genética y culturalmente, debido a que originó los ejemplares que se producen hoy en día.

Su calidad de taza es la característica más destacada, ya que sus propiedades pueden cambiar con respecto al sustrato donde crece. Por lo general, su sabor dulce tiene tonos achocolatados y de nuez, con cuerpo ligero y acidez frutal.





2.3 TYPICA MEJORADO

No existen registros detallados sobre esta variedad.

Typica mejorado es una variedad de excelencia y se cultiva en algunos países de Latinoamérica. En Ecuador, se puede encontrar en alturas que bordean los 1700 m.s.n.m.

Se cree que su origen está ligado a los esfuerzos realizados por la empresa privada y caficultores para desarrollar cultivares más resistentes a la Roya, conservando las características de la variedad natural Típica.



A pesar de que los análisis fitogenéticos no demuestran relación directa con el linaje, el nombre es muy acogido dentro de las regiones donde se produce.

Esta variedad es un híbrido de Bourbon y Heirloom/Landrace Etiope, con características distintivas aún no descritas bibliográficamente.

Su aroma es intensamente floral, de sabor dulce y cuerpo refinado, con una acidéz de mayor calidad que los frutos de la variedad Gesha.



3 MANEJO ORGÁNICO DE LAS PLANTACIONES

Desde sus inicios, las prácticas agronómicas de la región de Apuela se caracterizaron por brindar un manejo integrado y ecológicamente sostenible. Estas técnicas, conocidas como sistemas agroforestales, permiten conservar la diversidad local y establecer relaciones que ayudan a mejorar las condiciones de cultivo de café, así como del ambiente y sus recursos.

Con el tiempo, los productores desarrollaron estrategias novedosas, con el fin de determinar las mejores alternativas que hoy en día son usadas por la comunidad cafetera de la zona.





3.1 SISTEMAS AGROFORESTALES

Son sistemas de producción **sostenible** que hacen uso de especies leñosas perennes, conjuntamente con cultivos de especies agrícolas de interés, dentro de la misma área de terreno.

Beneficios

- Filtración de rayos ultravioletas e infrarrojos.
- Estabilización de la humedad y temperatura ambiental y del suelo.
- Barrera natural contra el viento.
- Aumenta la filtración del agua y retarda la evaporación.
- Regulación de la proliferación de malezas.
- Incrementa la materia orgánica del suelo, permite la fijación de nitrógeno y promueve la recirculación de nutrientes.



En Apuela, todos los productores de café emplean este sistema con árboles de **plátano** y en algunos casos, **guabos**. Con esto se logra mantener un control más preciso de las condiciones de cultivo, obteniendo mejores rendimientos y características de fruto.

Se recomienda que la sombra sea de un nivel baja a intermedio, debido a que en épocas de humedad la falta de luz solar podría incrementar la incidencia de enfermedades fúngicas, como la roya.



3.2 PODA DEL CAFETO

Se realiza inmediatamente después de la cosecha, con el objetivo de optimizar la siguiente producción, renovar las plantaciones y eliminar las partes innecesarias para promover la salud de los ejemplares. Se recomienda la poda luego de haberse obtenido 4-5 cosechas de una plantación, debido a que la planta podría presentar **agotamiento productivo**.

Beneficios

- Mejor acceso y distribución de la luz y el aire.
- Permite controlar el área foliar.
- Facilita la recolección de los frutos.
- Mejora la distribución de nutrientes.
- Evita el desarrollo masivo de plagas y enfermedades.
- Permite estabilizar la producción para evitar la maduración asíncrona.



Factores a considerar antes de realizar la poda

- Edad de los ejemplares.
- Estado fitosanitario.
- Variedades y densidad de siembra.
- Producción y rendimiento actuales.
- Época del año.
- Condiciones físicas y nutricionales.
- Nivel de maleza presente.
- Estado de los nutrientes del suelo.





Tipos de poda en el cafeto

Despunte herbáceo	<p>Se realiza luego de las primeras cosechas para delimitar la altura.</p> <ul style="list-style-type: none">-Se corta el brote tierno apical para estimular ramas secundarias y terciarias.-A 1,70 m del suelo con variedades de porte bajo y de porte alto, a 1,80 m.	
Poda alta o descope	<p>Para renovar una planta que entra en agotamiento.</p> <ul style="list-style-type: none">-Detiene el desarrollo vertical del tallo.-Sitio de corte a 1 m del suelo si son de porte bajo y 1,20 de porte alto.-Requiere mínimo de 15-20 pares de ramas sanas bajo el corte.-Se estimulan ramas secundarias/terciarias y la formación de un segundo piso de 1-2 brotes.	
Poda baja o recepa	<p>Para renovar plantas poco productivas por la avanzada edad o agotamiento.</p> <ul style="list-style-type: none">-Se elimina el tallo a una altura de 20-30 cm desde el suelo.-El corte debe ser inclinado y limpio, de aproximadamente 35°.-Cuando rebrota se seleccionan los más vigorosos y la cantidad deseada.	
Poda de saneamiento	<p>Se realiza para mantener la salud de la planta.</p> <ul style="list-style-type: none">-Consiste en eliminar ramas secas, rotas, enfermas o con plagas.-Sirve para evitar que algún problema se propague por toda la planta.	
Poda esqueletica	<p>Para renovar plantas poco productivas.</p> <ul style="list-style-type: none">-Se ejecuta un primer corte en el tallo a 0,8-1,2 m del suelo.-Se cortan todas las ramas a 30-40 cm del tallo.-Los cortes inducen rebrote en el tallos y ramificaciones secundarias.	



3.3 DESHIJA POST-PODACIÓN

Es un procedimiento importante luego de haberse realizado una poda, generalmente de renovación. El objetivo es seleccionar los brotes que serán productivos durante los siguientes periodos, eliminando los excesos y dejando los hijos más vigorosos.

Primer deshije

Se realiza tres o cuatro meses después del surgimiento de los brotes. Se seleccionan 2 o 3 brotes vigorosos situados de 5-10 cm bajo el corte. Se aconseja dejar dos brotes adicionales en caso de pérdida de alguno.



Segundo deshije

Es el **deshije definitivo**, se realiza dos o tres meses luego del primer deshije. Se deja el número definitivo de nuevos hijos que se desea para obtener una buena producción. No se deben dejar más de **dos por rama, ni cuatro por planta**. La disposición de preferencia debe ser opuesta y lo más alejados posible entre ellos.



3.4 FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

La fertilización se emplea para compensar los contenidos de materia orgánica y nutrientes que el suelo pierde por la erosión, lixiviación, cosecha, entre otros que pueden afectar el adecuado desarrollo, calidad, producción de las plantas y sus frutos.

¿Qué es un fertilizante orgánico?

Un fertilizante orgánico es una mezcla preparada compuesta por residuos y sustancias naturales, las cuales se integran al suelo para suplir las necesidades nutricionales de las plantas, sin presentar riesgo de toxicidad o daño para el ambiente.

Fertilización diluida

Se refiere al uso de fertilizantes líquidos aplicados directamente sobre el suelo o la planta. Generalmente se utiliza en terrenos planos, cuando la lluvia escasea.



Fertilización sólida

- Bocashi
- Composteras



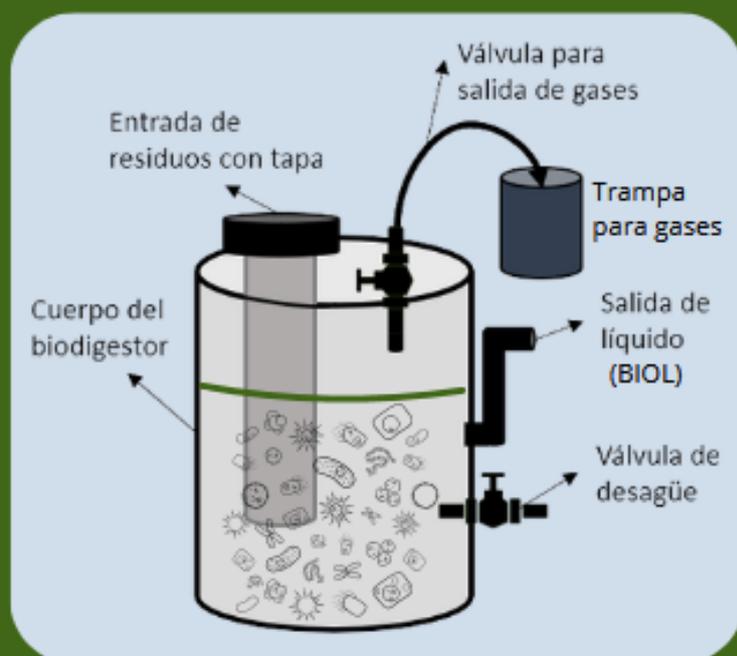
3.4.1. Fertilización diluida

BIOL

Es un biofertilizante con alto contenido de nutrientes, obtenido por la fermentación **anaerobia** de residuos orgánicos (animales y vegetales). Su producto tiene dos partes: una gaseosa (metano) y una líquida (Biol).

Su preparación se realiza por medio de **biodigestores** cerrados, para evitar el ingreso de aire y la salida de gases.

Figura 3.
Componentes generales de un biodigestor.



Sustrato (para un biodigestor de 200 L)

- Estiércol seco de animal: 40-50 Kg.
- Melaza: 2-4 L.
- Agua: 180 L.
- Se pueden incluir otros residuos orgánicos ricos en N, así como minerales.

Recomendaciones

- La mezcla debe reposar por 30 días en el biodigestor, mientras se lleva a cabo la fermentación/descomposición.
- Se debe agitar el contenido una vez por semana para mantener homogénea la mezcla.
- Se recomienda una dilución de 5 L de Biol en 40 L de agua para aplicación foliar del fertilizante líquido.
- Se sugiere usar el fertilizante en máximo una semana después de su obtención, para mayor efectividad.



3.4.2. Fertilización sólida

BOCASHI

Se obtiene por medio de la fermentación **aerobia** y **anaerobia** de desechos orgánicos, de origen vegetal y animal. Se pueden agregar minerales como roca fosfórica para aumentar los nutrientes.

Características

- Es de rápida producción, económico y de fácil disponibilidad para las plantas.
- Mejora las condiciones del suelo, aumenta la diversidad microbiana.
- Es seguro, el calor generado en el proceso elimina microorganismos patógenos y plagas.

Sustrato

- Estiércol bovino: 5 Kg
- Gallinaza: 5 Kg
- Salvado de trigo: 5 Kg
- Carbón triturado: 5 Kg
- Cal o ceniza: 250 g
- Tierra de bosque: 5 Kg
- Melaza: 1/2 litro
- Levadura: 200 g
- Agua



Procedimiento

- Se mezclan todos los componentes y se agrega agua para humedecer bien. Una vez lista, se tapa con plástico.
- Una vez montado, se debe revisar la temperatura diariamente y revolver la mezcla si es necesario. No debe superar los 45-55°C.
- El proceso de descomposición puede durar aproximadamente 1 mes.
- El Bokashi listo no presenta malos olores y se puede almacenar en sacos, en un ambiente fresco, hasta por 3 meses.



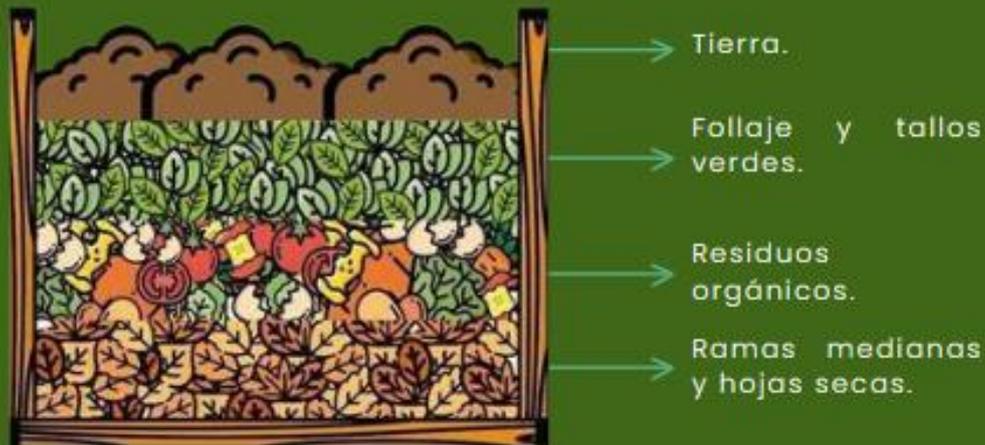
COMPOST

Es un proceso **aerobio controlado** de bajo costo. Aquí, los materiales se descomponen por acción microbiana. El sustrato es rico en carbono y poco menos en nitrógeno.

Características

- El carbono puede provenir de restos orgánicos de cocina, así como también de hojas, ramas y troncos secos.
- Se recomienda usar pulpa seca de café, por su alto contenido de materia orgánica.
- El nitrógeno puede provenir de estiércol animal o follaje fresco (leguminosas).
- Los materiales recolectados se colocan en capas sucesivas como se muestra en la figura 2.

Figura 4.
Disposición de sustratos en compostera.



Recomendaciones

- Se recomienda una proporción carbono/nitrógeno 20:1 para evitar malos olores
- La compostera se debe construir en un lugar fresco, protegido del sol y la lluvia excesiva.
- Luego de colocar la última capa se agrega agua para humedecer la mezcla.
- Se debe revisar y voltear cada 8 día, cuidando que exista humedad con la adición de agua.
- La descomposición tarda aproximadamente 1 mes, pero se debe dejar madurar durante 3 meses dentro de costales.



Materiales que pueden ser usados para elaborar fertilizantes.

Tabla 1.

Materiales orgánicos y sus características químicas.
Obtenido de: Ureña, (2009).

Residuo	N	Na	K	Ca	Mg
	%				
Pulpa de café	2,24	0,14	2,51	0,51	0,13
Bagazo de caña	2,27	1,26	0,21	2,98	0,22
Cascarilla de arroz	0,36	0,05	0,12	0,56	0,08
Cáscara de piña	0,92	0,11	1,71	0,33	0,16
Cáscara de yuca	0,33	0,05	0,29	0,23	0,04
Cáscara de plátano	1,13	0,28	5,10	0,25	0,16
Paja de trigo	0,42	0,12	1,18	0,20	0,10
Gallinaza	3,26	1,83	2,04	7,36	0,44

NOTA. Los valores de la tabla pueden variar de acuerdo a las condiciones de los materiales.



4 PLAGAS COMUNES DEL CAFÉ ARÁBIGO

4.1 BROCA

Hypothenemus hampei Ferrari

Puede atacar el fruto tierno, maduro o almacenado. Perfora el grano para alimentarse y depositar huevos, para luego las larvas también alimentarse de la semilla.

Control

- **Cultural:**

Recolección de frutos caídos, maduros, sobre maduros y secos.
Fertilización, control de maleza y sombra.

- **Biológico:**

Liberación del parasitoide (avispa) *Cephalonomia stephanoderis*.
Uso del hongo *Beauveria bassiana*.



Trampas



El difusor (gotero) contiene 20ml de solución de alcohol (70%) y café maduro molido, a una concentración de 454g/L.

El agua de la trampa (200ml) se debe cambiar cada 8-15 días.

Se sugiere colocar de 15-20 trampas por hectarea.



4.2 MINADOR DE LA HOJA

Leucoptera coffella

Se produce cuando la palomilla deposita sus huevecillos en las hojas y al nacer, las larvas penetran los tejidos para alimentarse por 3 semanas. Su incidencia es mayor en los meses de enero a mayo.

Control

- **Cultural:**

Fertilización adecuada, control de maleza y regulación de la sombra durante los meses de mayor incidencia.

- **Biológico:**

Se basa en el mantenimiento de los enemigos naturales del minador, cuya efectividad depende de las condiciones ecológicas y biológicas. Entre ellos tenemos: *Buculatriplex letifer*, *Orgilus* sp. (Hymenoptera: Braconidae). También existen especies de *Closterocerus* y *Zagrammosoma* (Hymenoptera: Eulophidae).

La infección puede ser más severa en plantaciones expuestas al sol, sobre todo en pisos ubicados a más de 1000 m.s.n.m., por lo que es importante regular las podas y el sombreado.





5 PRINCIPALES ENFERMEDADES

5.1 ROYA

Hemileia vastatrix



Es un hongo fitoparásito obligado que afecta todas las variedades de café arábigo. Se propaga por medio de esporas a través del aire.

La enfermedad se caracteriza por la presencia de manchas amarillas en la parte superior de las hojas, pero la infección se produce en el envés, donde se ve un polvillo anaranjado en forma de círculos.

Infecciones severas afectan fuertemente la producción, al provocar la caída de las hojas y debilitar a la planta.

5.2 MAL DE HILACHAS

Pellicularia koleroga Cooke



Se produce en plantaciones con mucha sombra, humedad y poca ventilación. Ataca hojas y frutos, donde el micelio forma hilos que retienen los restos marchitos. Se desarrolla desde la base de las ramas hasta las puntas, pudiendo causar la pérdida total de hojas, frutos y la planta.

Sus efectos pueden prevalecer durante las siguientes cosechas.



5.3 OJO DE GALLO

Mycena citricolor



Afecta tanto a las hojas como a los frutos y se caracteriza por la presencia de figuras redondeadas de color café con relieve en el haz de las hojas, pero puede ser visible en ambos lados.

Las precipitaciones y el follaje denso favorece la infección.

Provoca la pérdida de hojas y frutos, incluso toda la planta si la infección es alta.

Se puede controlar con un manejo cultural efectivo.

5.4 ANTRACNOSIS

Colletotrichum coffeanum



Ingresa por medio de tejido dañado en la planta. Produce manchas irregulares de color café en las hojas y ramas. Los granos se vuelven negros y se secan.

Se puede controlar con una buena fertilización, ventilación y control de malezas.

En caso de infección se recomienda la poda de saneamiento e incineración del material.



5.5 CONTROL DE ENFERMEDADES

PREPARACIÓN DE CALDO BORDELÉS



Materiales

Para preparar 50 L de solución.

- Un recipiente plástico de 100 L.
- 0,5 Kg de cal
- 0,5 Kg de sulfato de cobre (CuSO_4)
- Agua

Procedimiento:

1. Coloque un poco de agua en el recipiente de 100 L de capacidad.
2. Agregue poco a poco la cal manteniendo agitación hasta disolver.
3. En otro recipiente pequeño, coloque un poco de agua y agregue el sulfato de cobre, manteniendo agitación hasta disolver.
4. Agregue la solución de sulfato de cobre a la solución de cal y agregue la cantidad restante de agua hasta ajustar los 50 L.

Se recomienda aplicar mediante aspersion a 15 días previos al inicio de la época lluviosa. Se debe procurar cubrir el envés de las hojas para mayor efectividad.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, E., & Mazzafera, P. (2008). Influence of temperatura and water on coffee culture. *The Americas Jpurnals of Plant Science and Biotechnology*, 32-39.

Anacafé. (2020). *Guía de variedades de café* (3ra. ed).

Bolaños, J., & Pérez, A. (2016). *Manual de fertilizantes y plaguicidas orgánicos en el cultivo de café* (CLAC.).

Brainrad, P. (2024). The Role of Altitude in Coffee Bean Flavor: Unveiling the Secrets. <https://Allabout-Coffee.Com/the-Role-of-Altitude-in-Coffee-Bean-Flavor-Unveiling-the-Secrets/>.

Campos, O. (2020). *Manejo Integrado del Minador de la Hoja del Cafeto*. Centro de Investigaciones en Café de Anacafé, Cedicafé.

ClimateData. (2024). Clima de Cotacachi, Ecuador. <https://Es.Climate-Data.Org/America-Del-Sur/Ecuador/Provincia-de-Imbabura/Cotacachi-25394/>.

Coffee Research Teem. (2024). The Effects of Rainfall Patterns on Coffee Quality and Yield. <https://Ebrucoffeeco.Com/Blogs/Culture/the-Effects-of-Rainfall-Patterns-on-Coffee-Quality-and-Yield>.

DespisteCafé. (n.d.). El café criollo: sabor, aroma y beneficios Buscar. <https://Despistecafe.Es/Criolla-Cafe/>.

Drinnan, J. E., & Menzel, C. M. (1995). Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). *Journal of Horticultural Science*, 70(1), 25-34. <https://doi.org/10.1080/14620316.1995.11515269>

EsdrasAcademy. (2024). *Café Caturra Amarillo: Sabor, Precio, Características*. <https://Esdrasacademy.Com/Cafe-Caturra-Amarillo/>.

Farfán, F. (2007). P roducción de café en sistemas agroforestales. In H. Ospina & S. Marín (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (Primera, pp. 162-200). FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA.



Gómez, S. (2024). Guía de Fertilización del Café. Cultivo Sostenible y Productivo. <https://Quecafe.Info/Guia-Fertilizacion-Cafe-Intensificacion-Sostenible/>.

INIAP. (1993). MANUAL DEL CULTIVO DEL CAFE (I. Sotomayor, Ed.). Estación Experimental Tropical Pichilingue.

Instituto del Café de Costa Rica. (2020). Guía técnica para el cultivo del café (X. Quirós, Ed.; Segunda edición).

Jürgen, A., & Salazar, D. (2012). DIAGNÓSTICO, MONITOREO Y AUDITORÍA DE LAS BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS A TRAVÉS DEL SISTEMA DE SEMÁFORO EN CAFETALES DE PERÚ: Vol. Primero. Sierra Exportadora y PERUCÁMARAS.

Martinez, S. J., Simão, J. B. P., Pylro, V. S., & Schwan, R. F. (2021). The Altitude of Coffee Cultivation Causes Shifts in the Microbial Community Assembly and Biochemical Compounds in Natural Induced Anaerobic Fermentations. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.671395>

Nucallacta. (2017). Ecuador's Heirloom Coffee - Café Criollo. <https://Cafenucallacta.Com/Index.Php/2017/07/16/Ecuadors-Heirloom-Coffee-Cafe-Criollo/>.

Olortegui, T. (2012). Manejo integrado de plagas de café. Agrobanco.

Pang, I. (2023). Criollo Coffee (Creole): Ecuador's Prized Typica Coffee. <https://www.homegrounds.co/criollo-coffee-creole/>.

PITTIA, P., NICOLI, M. C., & SACCHETTI, G. (2007). EFFECT OF MOISTURE AND WATER ACTIVITY ON TEXTURAL PROPERTIES OF RAW AND ROASTED COFFEE BEANS. *Journal of Texture Studies*, 38(1), 116-134. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2007.00089.x>

Ramírez, J., & Cerda, R. (2021). La Poda del Cafeto (O. Valenzuela, J. Soto, & F. Cruz, Eds.). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Rodas, R. (n.d.). FERTILIZACIÓN AL SUELO EN EL CULTIVO DE CAFÉ. In <https://www.anacafe.org/uploads/file/b04fcacfe8a54b5d804dde3462b59828/03-Fertilizaci%C3%B3n-al-suelo.pdf>. Anacafe.

Sánchez, P., Alpizar, J. M., & Ramírez, J. (1989). MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA EL CULTIVO DEL CAFE (6ta. ed).



Velásquez, R. (2015). Recomendaciones y consideraciones para la renovación exitosa de una plantación. Asociación Nacional del Café.

Wichmann, W. (1992). IFA World Fertilizer Use Manual (D. J. Halliday, N. Suffolk, & M. E. Trenkel, Eds.). BASF AG.

World Coffee Research. (2019). LAS VARIEDADES DEL CAFÉ ARÁBICA.



7 ANEXOS

ENCUESTA PARA LOS CAFICULTORES DE AACRI, PARROQUIA DE APUELA, VALLE DE INTAG.

IDENTIFICACIÓN DE VARIEDADES DE CAFÉ CULTIVADAS EN LA LOCALIDAD

Esta encuesta tiene fines completamente investigativos y por ningún motivo será empleada con otros propósitos.

Encuesta N °: Día: Fecha: Hora:

1. Información general:

1.1. Nombre del encuestado:

1.2. Edad:

1.3. Estado civil:

2. Datos geográficos:

2.1. Locación/coordenadas referenciales:

Latitud: _____

Longitud: _____

2.2. Altitud.

2.3. Relieve del terreno:

3. Datos de las plantaciones.

3.1. ¿Cuál es el área cultivada?

3.2. ¿Qué variedades de café son cultivadas?

3.3. ¿Cuál es la edad aproximada de la plantación?

3.4. ¿Cuántas plantas de café tiene cultivadas?

3.5. ¿Cómo maneja el sistema agroforestal?



3.6. ¿Qué beneficios observa con las especies arbóreas que utiliza para la sombra?

3.7. ¿Qué enfermedades dificultan el cultivo de café?

3.8. ¿Cómo controla el apareamiento de enfermedades?

3.9. ¿Qué plagas dificultan la producción?

3.10. ¿Cómo controla las plagas?

3.11. ¿A qué distancia desde el suelo realizó la poda de formación?

3.12. ¿Cómo realiza la poda de saneamiento?

3.13. ¿Cómo realizó la poda de renovación?

3.14. ¿Cómo fertiliza la plantación?

3.15. ¿Qué residuos orgánicos usa para compost?

3.16. ¿Con qué frecuencia fertiliza el cultivo?
