

**Informe de pasantía: Evaluación de abono orgánico a base de pulpa de café en chapolas
biológicamente estimuladas**

Jéssica Raquel Jaramillo Valencia

Asesor

Rocío del Carmen Yepes Dávalos

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2026

Nota de Aceptación

Nombre Director de Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme transitar esta senda educativa con satisfacción.

A mis padres, a mi hija, a mis hermanos y a mi pareja, quienes han sido el apoyo incondicional y el motivo de mi perseverancia en esta etapa de mi formación. A ellos, que me enseñaron que se vale soñar con los pies en la tierra para que en cada paso dado nos acerquemos a ese sueño. Este

logro también es de ustedes.

Agradecimientos

A la universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por brindarme las herramientas académicas necesarias para formarme como profesional comprometida con el desarrollo agrario.

A la empresa BluePlanet Colombia por confiar en mis capacidades para llevar a cabo este proyecto académico-investigativa y permitirme ser parte de una agricultura más sostenible.

A la tutora Rocío Yepes por ser guía constante, por sus correcciones, paciencia y disposición fundamentales para llevar este informe a un nivel de excelencia académica.

Resumen

La pulpa de café es un subproducto que generalmente es descartado por los productores cafeteros porque siempre se ha visto como desecho, pero en realidad es un componente que encierra un gran potencial cuando se transforma en abono orgánico ya que no solo regula el pH de los suelos si no que puede enriquecerlos profundamente mejorando su estructura fisicoquímica, aireación, retención de agua y contenido nutricional. Teniendo esto en cuenta, se puede mencionar un aliado crucial que potencia aún más estos resultados: La bioestimulación de semillas. Que no solo acelera la germinación, sino que mejora la uniformidad del crecimiento y la eficiencia en la absorción de nutrientes, permitiendo que las plantas empiecen su vida con una dosis extra de energía y más preparadas para enfrentarse a diferentes factores agroclimáticos en su proceso de desarrollo. Es interesante ver la conjunción de estos elementos ya que, por un lado, tenemos un sustrato orgánico enriquecido a base de pulpa de café, y por el otro, semillas tratadas biológicamente de las cuales germinan plántulas con ventajas fisiológicas que desarrollan una mayor resiliencia frente al estrés ambiental, enfermedades y plagas; definitivamente una gran combinación encaminada hacia una agricultura más viva, más sostenible y comprometida con la tierra.

Palabras clave: Pulpa de café, abono orgánico, suelo, bioestimulación, medio ambiente.

Abstract

Coffee pulp is a byproduct generally discarded by coffee producers because it has always been viewed as a waste. However, it is a component that holds great potential when transformed into organic fertilizer. It not only regulates soil pH but can also profoundly enrich it by improving its physicochemical structure, aeration, water retention, and nutritional content. With this in mind, we can mention a crucial ally that further enhances these results: seed bio stimulation. This not only accelerates germination but also improves growth uniformity and nutrient absorption efficiency, allowing plants to begin their lives with an extra dose of energy and better prepared to face different agroclimatic factors during their development process. It's interesting to see the combination of these elements, since on the one hand, we have an organic substrate enriched with coffee pulp, and on the other, biologically treated seeds that germinate seedlings with physiological advantages that develop greater resilience to environmental stress, diseases, and pests. A truly excellent combination aimed at a more vibrant, sustainable, and land-friendly agriculture.

Keywords: Coffee pulp, organic fertilizer, soil, bio stimulation, environment.

Tabla de Contenido

Justificación	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
Marco Teórico	15
Generalidades y Ciclo Productivo del <i>Coffea arabica</i>	15
Descripción del <i>Coffea arabica</i>	15
Morfología y Sistema Radicula	15
Requerimientos Edafoclimáticos	15
Ciclo Fenológico	15
Ciclo Fenológico Inicial	16
Etapas Fenológicas y Tiempos de Desarrollo	16
Importancia Comercial y Calidad	17
Variedad Específica: Supracafé etíope	17
Estructura de Costos e Inversión (Modelo 1 Hectárea)	17
Procesos de Transformación	18
Procesos de Cosecha y Transformación (Beneficio)	18
Valorización de Subproductos y Ciclaje de Nutrientes: La Pulpa de Café	18
Adversidades y Limitantes del Cultivo	19
Descripción de la Pasantía	20
Presentación de la Empresa	20
Descripción del Área de la Pasantía	20

Ubicación y Duración	20
Cronograma de Actividades	23
Actividades Desarrolladas	24
Metodología	24
Material Vegetal	24
Diseño Experimental	24
Bioestimulación de Semillas	24
Desinfección del Sustrato para Germinador	25
Inmersión de Semillas	25
Mantenimiento del Germinador	26
Desinfección del Sustrato para Chapolas	26
Preparación del Sustrato para Chapolas	26
Bioestimulación Radicular	27
Manejo Fitosanitario	27
Tratamiento Testigos (Manejo Convencional)	28
Variables Evaluadas	28
Post-germinación (pre-enchapolado)	28
En Vivero (3 meses después de enchapolado)	28
Resultados y Discusión	28
Porcentaje de Germinación y Vigor Inicial	28
Evaluación Post-enchapolado	30
Desarrollo Radicular	32
Estado Fitosanitario	33

Comparación de Variables Post-germinación entre Tratamientos	33
Desarrollo Morfológico en Vivero	37
Análisis Económico de la Inversión	39
Resultados Alcanzados con la Pasantía	42
Aportes	44
Aportes de la Pasante a la Empresa	44
Aportes a la Universidad	44
Conclusiones	45
Recomendaciones	46
Referencias Bibliográficas	47

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Planta de Coffea arabica</i>	16
Figura 2 <i>Mapa de Caracterización de Zona de Trabajo</i>	22
Figura 3 <i>Desinfección del Sustrato para Germinador</i>	25
Figura 4 <i>Inmersión de las Semillas</i>	25
Figura 5 <i>Siembra</i>	26
Figura 6 <i>Preparación del Sustrato para Chapolas</i>	27
Figura 7 <i>Manejo Fitosanitario</i>	27
Figura 8 <i>Desarrollo de Radícula en Semilla BP y Testigo</i>	29
Figura 9 <i>Germinación de Semillas BP Frente a Testigo</i>	29
Figura 10 <i>Chapola Afectada por el Sustrato Inmaduro</i>	30
Figura 11 <i>Chapolas Recuperadas</i>	31
Figura 12 <i>Desarrollo Radicular</i>	33
Figura 13 <i>Porcentaje de Germinación</i>	33
Figura 14 <i>Altura de Planta</i>	34
Figura 15 <i>Longitud de Raíz</i>	35
Figura 16 <i>Peso Fresco</i>	36
Figura 17 <i>Comparación Morfológica en Almacigo</i>	37

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Cronograma de Actividades</i>	23
Tabla 2 <i>Variables Morfológicas en Plántulas de Café a los 3 Meses en Vivero</i>	38
Tabla 3 <i>Comparación de Variables Morfofisiológicas Post-Germinación entre Tratamientos</i> ..	38
Tabla 4 <i>Evaluación del Desarrollo Radicular a los 3 Meses</i>	39
Tabla 5 <i>Consolidado de Bioinsumos BP para las Etapas de Germinador y Vivero</i>	39
Tabla 6 <i>Consolidado de Inversión Bioinsumos BP 1° Año (1 Ha)</i>	40
Tabla 7 <i>Consolidado de Inversión Modelo Convencional 1° Año (1 Ha)</i>	41
Tabla 8 <i>Cuadro Comparativo Final: BluePlanet vs. Convencional</i>	41

Introducción

La caficultura es una de las actividades agrícolas más importantes alrededor del mundo considerándola fundamental para los países productores como Colombia, que cuenta con una amplia historia, desarrollo y fortalecimiento de la caficultura. Dentro de las diferentes variedades de café cabe resaltar que solo dos, la especie arábica (*Coffea arabica*) y la robusta (*Coffea canephora*) son las de mayor importancia económica y comercial, sin dejar de lado su participación en los sectores social, cultural, gastronómico y ambiental.

Dentro del contexto actual de la caficultura y su constante auge de transformación, resulta importante enfatizar en la gran cantidad de residuos orgánicos derivados del procesamiento del café -como la pulpa- que es generada en grandes proporciones año tras año después de cada cosecha sin un manejo adecuado y posterior aprovechamiento. Este subproducto que tradicionalmente ha sido visto como un desecho con potencial contaminante, es en realidad un recurso subvalorado poseedor de un alto contenido nutricional y de materia orgánica.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, de tipo experimental y descriptivo, con un diseño completamente al azar en etapa de vivero, también tiene como propósito presentar un análisis sobre la evaluación de la empleabilidad del abono orgánico a base de pulpa de café en chapolas biológicamente estimuladas desde el germinador para la obtención de plántulas de café con alto valor genético, considerando su importancia y perspectiva a futuro.

Justificación

En el contexto actual de cambio climático, agotamiento del suelo y creciente demanda por cultivos sostenibles, se vuelve prioritario desarrollar alternativas que integren tecnologías limpias con materiales de origen local. La pulpa de café ha sido tradicionalmente considerada un residuo, un desecho del proceso del despulpado desvalorizando su importancia como una fuente rica en nutrientes que puede convertirse en un abono orgánico de alto valor para los cultivos y viveros.

Por otra parte, la bioestimulación de semillas con consorcios microbiológicos de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), ha demostrado mejorar la germinación de las semillas, el vigor inicial y la sanidad vegetal, aspectos esenciales en la producción de plántulas de café de calidad.

Finalmente, esta investigación justifica su relevancia en la necesidad de generar soluciones reales y replicables que integren ambos enfoques – el aprovechamiento de residuos orgánicos y la estimulación biológica- para fortalecer la producción cafetera desde el origen: la semilla. Los resultados obtenidos tienen el potencial de beneficiar tanto a pequeños productores como a empresas cafeteras interesadas en prácticas más sostenibles, eficientes y regenerativas; también se espera contribuir en el campo académico con aportes de los resultados obtenidos de manera que puedan ser guía o análisis en diferentes investigaciones.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto del abono orgánico a base de pulpa de café en chapolas biológicamente estimuladas desde el germinador, para la elaboración de plántulas de café con alto valor genético en condiciones de vivero.

Objetivos Específicos

Analizar la respuesta fisiológica y morfológica de las semillas de café bioestimuladas con consorcios bacterianos desde la etapa de germinación.

Comparar las variables de desarrollo vegetativo (altura, diámetro del tallo, número de hojas, desarrollo radicular) entre plántulas tratadas con abono orgánico de pulpa de café y un testigo bajo manejo convencional.

Identificar los posibles efectos adversos del uso de la pulpa de café como abono en función de su grado de maduración y establecer medidas correctivas mediante la bioestimulación foliar y radicular.

Determinar el impacto combinado del abono orgánico y la bioestimulación sobre el estado fitosanitario y la calidad de las plántulas producidas en vivero.

Marco Teórico

Generalidades y Ciclo Productivo del *Coffe Arabica*

El establecimiento y manejo de una hectárea de café requiere una planificación técnica, rigurosa, dividida en fases fenológicas y operativas que determinan la viabilidad financiera y productiva del proyecto.

Descripción del Coffea Arabica

El *Coffea arabica* es una de las familias de las Rubiáceas, originaria de las tierras altas de Etiopía, el centro de origen con la mayor diversidad genética de estas especies (Cafés El Magnífico, s.f.). En el contexto de este proyecto, su descripción se aborda desde tres ejes fundamentales:

Morfología y Sistema Radicular. Es un arbusto perenne que puede alcanzar hasta los 12 metros de altura en estado silvestre, aunque en cultivo se mantienen podas de 1.80 a 2.00 metros de altura. Posee una raíz pivotante central que penetra hasta los 50cm, pero su mayor actividad de absorción ocurre en las raíces laterales y pelos absorbentes situados en los primeros 20cm del suelo.

Requerimientos Edafoclimáticos. El café arábigo es altamente sensible a las condiciones de su entorno y para su desarrollo óptimo requiere:

- Altitud: Entre 1.200 y 2.000 m.s.n.m. (rango ideal para el departamento del Cauca)
- Temperatura: Un promedio entre 18°C y 22°C.
- Suelos: Prefiere suelos de origen volcánico (Andisoles), con buena porosidad, drenaje profundo y pH ácido (entre 5.0 y 5.5)

Ciclo Fenológico

Ciclo Fenológico Inicial. Para efectos de esta pasantía, la descripción se centra en las fases de establecimiento:

- Germinador: Dura aproximadamente entre 45 y 60 días hasta la aparición de las “hojas cotiledonales” (chapolas).
- Almacigo/Vivero: Etapa de 3 a 5 meses donde la plántula desarrolla sus primeros pares de hojas verdaderas.
- Siembra Definitiva: Inicio de la fase vegetativa en campo, donde se define el vigor que tendrá la planta en su etapa productiva (a partir de los 18-24 meses).

Etapas Fenológicas y Tiempos de Desarrollo. El ciclo comienza con la fase de Germinador (2 meses), donde la semilla transita por los estados de “fósforo” y “chapola”. Seguidamente, se realiza el trasplante a Almacigo (4 a 6 meses), etapa crítica para el desarrollo radicular. Una vez ubicada en el sitio definitivo para su desarrollo, la planta en levante entra en una fase vegetativa de 18 a 24 meses antes de su primera cosecha significativa. Y finalmente en producción, la planta de café tecnificada tiene una vida útil productiva de 5 a 7 años antes de requerir una poda de renovación (soca).

Figura 1

Plántula de Coffe arábica



Nota: Lote experimental de almácigo de café.

Importancia Comercial y Calidad

A diferencia de la especie *Robusta*, el *Coffea arabica* es valorado mundialmente por su calidez de taza, acidez equilibrada y menores niveles de cafeína. Colombia es líder mundial en la producción de **Cafés Suaves Lavados**, lo que exige que el manejo agronómico sea impecable desde el vivero para garantizar que la planta exprese todo su potencial genético.

Variedad Específica: Supracafé etíope. En el desarrollo de esta pasantía se trabajó con la variedad Supracafé etíope, un material genético seleccionado por Supracafé para sus programas de alta especialidad.

Basados en su linaje etíope, se destacan las siguientes características:

- **Perfil Genético:** Proviene de variedades originarias de Etiopía que, a diferencia de los híbridos modernos, estas variedades suelen tener un porte más estilizado y una alta calidad sensorial.
- **Vigor y Adaptabilidad:** Las variedades etíopes suelen ser muy exigentes en nutrición durante la etapa de levante. Su sistema radicular tiende a ser profundo, pero delicado en las fases iniciales de germinación.
- **Resistencia y Sanidad:** A diferencia de la variedad Castillo, las variedades de origen etíope puro pueden tener una resistencia variable a la roya (*Hemileia vastatrix*).
- **Atributos en Taza:** Se caracteriza por perfiles florales, cítricos y una acidez brillante, lo que lo clasifica como café de especialidad. (*Specialty Coffe*).

Estructura de Costos e Inversión (Modelo 1 Hectárea). Para una densidad de siembra promedio de 5.000 a 6.000 plantas/ha, se estima la siguiente estructura económica (valores referenciales para el sector):

- **Inversión Inicial (Establecimiento):** Comprende el trazado, ahoyado, compra de semillas/colinos, correctivos de suelo y mano de obra. Representa el 40% del costo total en los primeros 2 años.
- **Costos Operativos (Mantenimiento):** La fertilización representa el gasto más alto en insumos (aprox. 40% -50% del costo de producción por kilo).
- **Punto de Equilibrio:** Generalmente se alcanza a partir de la cuarta cosecha (año 4 o 5), dependiendo de los precios internacionales (Bolsa de New York) y el diferencial de calidad.

Procesos de Transformación

Procesos de Cosecha y Transformación (Beneficio). La calidad final del grano depende de la precisión en el beneficio:

- **Recolección:** Es la selección manual de cerezas en grado óptimo de madurez (color rojo cereza).
- **Despulpado:** En la separación de la semilla del epicarpio, idealmente el mismo día de la cosecha.
- **Fermentación:** Es el proceso bioquímico de entre 12 y 18 horas para separar el mucílago. Un error en este tiempo puede generar defectos de “reposos” o “vinagre”.
- **Lavado y Secado:** Es la eliminación de azúcares residuales y reducción de la humedad del grano del 50% al 10% - 12%, nivel necesario para su comercialización como café pergamino seco (CPS).

Valorización de Subproductos y Ciclaje de Nutrientes: La Pulpa de Café. Finalmente, es imperativo destacar que el ciclo biológico del *Coffea arábica* genera un subproducto de alto valor agronómico: la pulpa de café.

Desde una perspectiva científica, este residuo representa aproximadamente el 40% del peso fresco del fruto y posee una riqueza mineral significativa, destacándose por sus altos contenidos de potasio que pueden alcanzar hasta un 4.5% en base seca, nitrógeno entre un 1.5% a 2.5% y materia orgánica estabilizada (García et.,1987). Su aprovechamiento mediante procesos de compostaje no solo reduce el impacto ambiental en los beneficios, si no que se convierte en una enmienda orgánica fundamental para el sostenimiento de la estructura del suelo.

En el contexto de variedad Supracafé etíope, el retorno de la pulpa compostada al lote cierra el ciclo nutricional de la planta, actuando como un soporte fisicoquímico. La integración de la materia orgánica proveniente de la propia especie con consorcios microbianos como los utilizados en este proyecto, asegura una liberación gradual de nutrientes y una mejora en la capacidad de intercambio catiónico, garantizando que el *Coffea arábica* desarrolle su máximo potencial productivo bajo un enfoque de agricultura regenerativa y de precisión (Sadeghian,2014).

Adversidades y Limitantes del Cultivo

El productor se enfrenta a retos constantes:

- Fitoclimáticos: El fenómeno de “El Niño” (sequías) o “La Niña” (exceso de lluvias que induce a enfermedades fúngicas).
- Plagas y Enfermedades: Principalmente La Broca (*Hypothenemus hampei*) que afecta el rendimiento de la producción y La Roya (*Hemileia vastatrix*) que comprende el área fotosintética.
- Socioeconómico: La volatilidad de los precios del café y el alto costo de los fertilizantes de síntesis química, lo que justifica la transición hacia la biotecnología

como la de BluePlanet Labs en este caso, para reducir la dependencia de insumos externos.

Descripción de la Pasantía

Presentación de la Empresa

BluePlanet Labs fundado en 2.003, es un laboratorio estadounidense con experiencia tecnológica en la formulación de soluciones biológicas para la restauración ambiental de los diferentes ecosistemas, ya sean agrícolas, ambientales, industriales o pecuarios. Está presente comercialmente en 36 países y desde su fundación ha llevado a cabo evaluaciones exitosas en todos los sectores de atención (BluePlanet, 2.022).

A diferencia de otros laboratorios, tienen la capacidad única de formular productos bacterianos específicos para cada especie, la experiencia científica necesaria para estabilizar fórmulas de los complejos métodos de bioquímica y tecnologías de proceso, permitiéndoles crecer selectivamente, estabilizar, mezclar y re – estabilizar cepas individuales de bacterias en productos biológicos activos con una larga vida útil (BluePlanet,2.022).

BluePlanet Labs cree en el poder de las formulaciones basadas en la naturaleza para transformar las mejores prácticas agrícolas de los productores de los alimentos globales y abordar la escasez de suministro de los alimentos y la degradación ambiental mundial que resultan de prácticas insostenibles (BluePlanet, 2.024).

Descripción del Área de la Pasantía

Ubicación y Duración. El trabajo se llevó a cabo en la finca Normandía perteneciente a la empresa Supracafé, ubicada en el municipio de Cajibío, departamento del Cauca, Colombia.

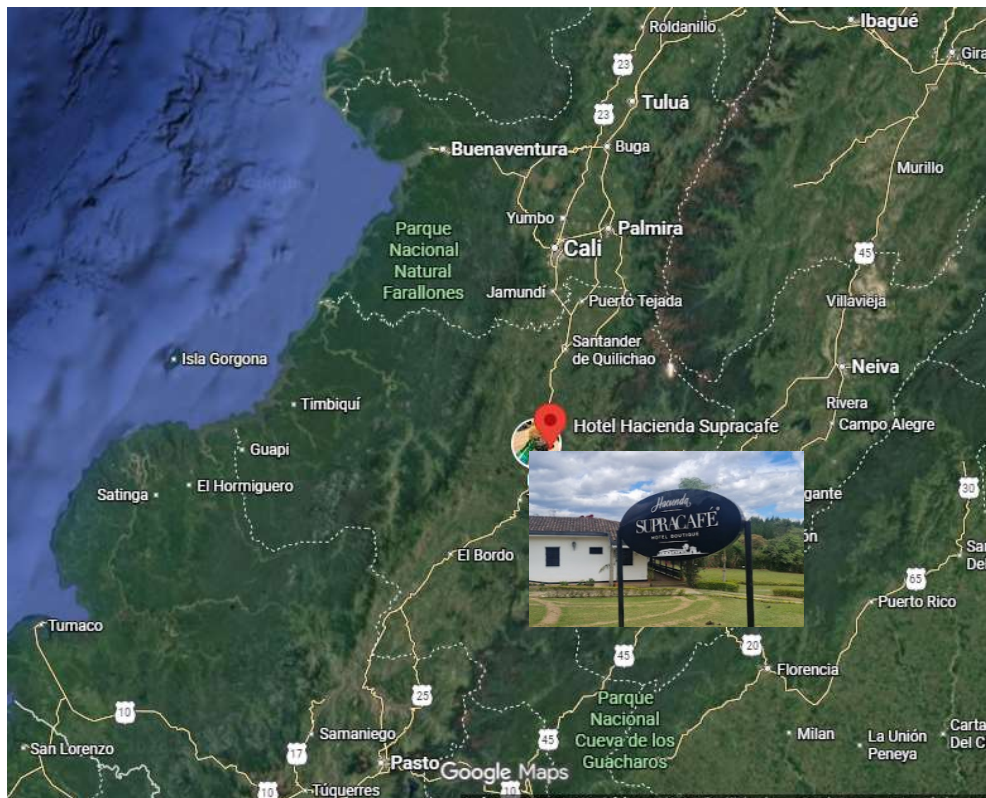
Es una zona reconocida por su vocación cafetera de alta calidad, con condiciones agroclimáticas ideales para el desarrollo y estudio de diferentes variedades de café.

De las tres fincas con las que cuenta la empresa Supracafé, es en Normandía donde se desarrolla esta labor de propagación del material vegetal y se utilizaron las instalaciones del germinador y el vivero o almácigo, que es donde ellos realizan su trabajo diario para mantener con compromiso los números de plantas estimadas para sus producciones. Esta investigación se llevó a cabo por medio de un convenio de cooperación entre ambas empresas para generar un impacto positivo frente al uso de material biológico vs el químico, así como del manejo de la pulpa de café como subproducto y no solamente como contaminante directo del medio ambiente.

El trabajo tuvo una duración de seis meses, comprendidos entre junio y diciembre del año 2.024, periodo en el cual se trabajó de manera sostenible, natural, sin organismos modificados genéticamente (OMG), sin riesgos para la salud animal, humana y vegetal, además de generar una reducción en la dependencia y uso de agroquímicos. Se contó con el acompañamiento del personal de Supracafé encargado de las labores en esta área y el Ingeniero Ary Molano, vicepresidente para la transferencia de tecnología de BluePlanet Labs, en diferentes actividades de conteo y control fitosanitario de las chapolas y almácigo.

Figura 2

Mapa de Caracterización de Zona de Trabajo.



Fuente: (Google Maps, 2024)

Nota: Ubicación del área de Supracafé y Tecnicafé

Cronograma de Actividades

Tabla 1

Cronograma de actividades

<i>Objetivos</i>	<i>Actividades</i>
<i>Plantar 400 semillas para dar seguimiento al porcentaje de germinación y precocidad de estas.</i>	<i>Selección, bioestimulación y siembra de las 400 semillas. Determinar el porcentaje de germinación de acuerdo con los datos obtenidos en las visitas semanales.</i>
<i>Efectuar controles para el desarrollo fisiológico adecuado de las chapolas</i>	<i>Toma de diámetro y altura de los tallos de las chapolas. Registrar presencia / ausencia de damping-off u otros problemas fitosanitarios.</i>
<i>Evaluar el estado fitosanitario general de las chapolas y la efectividad agronómica del abono orgánico a base de pulpa de café.</i>	<i>Registrar los datos obtenidos en las variables morfológicas, fisiológicas y de sanidad en las plántulas con los diferentes sustratos.</i>

Nota: Descripción de las actividades del diseño experimental para el cultivo de chapolas incluyendo la bioestimulación de semillas, el registro de variables morfofisiológicas, controles fitosanitarios y la evaluación del abono orgánico a base de pulpa de café.

Actividades Desarrolladas

En primer lugar, se llevó a cabo una socialización con algunos miembros del área técnica de Supracafé para definir la variedad de café con la cual se realizaría el trabajo investigativo y la cantidad de semillas a emplear. Una vez hecho esto se procedió con el desarrollo del trabajo.

Metodología

Material Vegetal

- Se emplearon semillas de café de la variedad Supracafé etíope, propia de la empresa Supracafé.
- Se establecieron 2 tratamientos con bioestimulación a base de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) (BP1 y BP2) y una testigo con manejo convencional.
- Cada grupo se conformó por 200 semillas, para un total de 600 semillas evaluadas en el experimento.

Diseño Experimental

El ensayo se estableció en tres canastillas de germinación, una para cada tratamiento y para el testigo. Las semillas fueron sometidas a distintas condiciones de estimulación fisiológica y nutricional, para luego ser trasplantadas y llevadas al vivero donde se continuó con el manejo diferencial. Las formulaciones para el sector agrícola basadas en principios naturales promueven el crecimiento vegetal de todo tipo de cultivos.

Bioestimulación de Semillas

En los tratamientos BP, la bioestimulación inició en el germinador a partir del 29 de junio de 2024. Para ello se utilizó la formulación **SR Plus (+)** que contiene un consorcio de bacterias fotosintéticas y Bacillus + ácidos húmicos y fúlvicos.

Previo a la siembra se realizó:

Desinfección del sustrato para germinador. Se realizó la aplicación de **BioF** a razón de 2.7ml / L de agua (sin bactericida), usando 2 L para 0.15 m² de germinador. Esta formulación es un consorcio de bacterias estabilizadas que equilibran las sobrepoblaciones de microorganismos fitopatógenos por antagonismo y exclusión competitiva de alimentos o de espacio, por lo que actúa como un fungiestático de amplio espectro sobre bacterias y hongos de interés fitopatógeno.

Figura 3

Desinfección del Sustrato para Germinador



Nota: Se realiza la desinfección de la arena de manera general para mayor eficiencia.

Inmersión de Semilla. Las semillas se mantuvieron por 30 minutos en una solución de **SR Plus (+)** y agua (6 ml / 0.5 L agua por cada 200 semillas).

Figura 4

Inmersión de las Semillas



Nota: Durante la inmersión, las semillas son bioestimuladas para garantizar mayor porcentaje de germinación y precocidad.

Mantenimiento del Germinador. Una vez realizada la siembra de las semillas en el sustrato previamente desinfectado y las semillas bio-estimuladas, se realizaron aspersiones quincenales con **SR Plus (+)** a dosis regular y alta, utilizando 2 L de agua por aplicación.

Figura 5

Siembra



Nota: Se disponen las semillas previamente bioestimuladas, se cubren y se queda a la espera de su germinación.

Durante el almácigo, a partir del 30 de octubre de 2024 y se continuó con:

Desinfección del Sustrato para Chapolas. Para ello se hizo uso de **BioN** a 63ml / L de agua antes del llenado de bolsas. Esta formulación de bacterias eficientes para el control de blancos biológicos degrada sus oviposiciones y primeros instar larvales.

Preparación del Sustrato para Chapolas. Se realiza una mezcla de 25% abono orgánico pre-humificado de pulpa de café y un 75% de tierra.

Figura 6*Preparación del Sustrato para Chapolas*

Nota: Se desinfecta tanto la arena como a la pulpa mientras se realiza la mezcla del sustrato para las chapolas.

Bioestimulación Radicular. Se realizaron aspersiones con **SR Plus (+)** al momento del trasplante (1.5 ml / planta), y refuerzo a los 21 y 42 días (1.0 ml y 0.5 ml respectivamente).

Manejo Fitosanitario. Se realizaron aplicaciones foliares con **BioF** (1 ml / plántula) cada 15 días desde la aparición de tres pares de hojas.

Figura 7*Manejo Fitosanitario*

Nota: Este almácigo contó con los controles y manejos fitosanitarios requeridos durante su periodo.

Tratamiento Testigos (manejo convencional)

El tratamiento testigo siguió el protocolo estándar de la finca:

- Germinador: Desinfección por método de solarización una semana antes de la siembra y riegos diarios en la mañana a las semillas.
- Almácigo: Mezcla de 300 gr de sustrato órgano-mineral Nitrovital + 100 gr de arena + 600 gr de tierra por bolsa.
- Fertilización: Aplicación mensual de MAP (fosfato monoamónico) a razón de 4 gr por plántula.
- Control Fitosanitario: Aplicación de pesticida Manzate (50gr / bomba de 20 L), categoría toxicológica II: Moderadamente peligroso.

Variables Evaluadas

Se midieron variables morfofisiológicas y fitosanitarias en dos etapas:

Post-germinación (pre-enchapolado): Porcentaje de germinación, altura de la plántula, longitud de raíz, longitud de tallo y peso fresco.

En vivero (3 meses después del enchapolado): Altura de la planta, longitud del tallo, diámetro del tallo, número de pares de hojas, desarrollo radicular (largo y grosor), estado fitosanitario.

Resultados y Discusión

Porcentaje de Germinación y Vigor Inicial

Los tratamientos con bioestimulación mostraron un desempeño claramente superior al testigo en la fase de germinación pues **BP 1** alcanzó un 93,5% de germinación y **BP 2** obtuvo un 87,5% frente al **Testigo** con un 61,5%.

También se evidenció mayor altura, peso y desarrollo radicular en las plántulas bioestimuladas, este comportamiento sugiere que la actividad fisiológica inducida por el **SR Plus** desde el germinador, favoreció la imbibición, el rompimiento de latencia y vigor inicial.

Figura 8

Desarrollo de radícula en semilla BP y Testigo.



Nota: Se aprecia la notable diferencia de las radículas en la semilla bioestimulada y la de manejo convencional.

Figura 9

Germinación de semillas BP frente a Testigo.



Nota: Apreciación de germinación para las semillas bioestimuladas en las canastillas horizontales frente a la germinación de las semillas de manejo convencional en la canastilla vertical.

Evaluación Post-enchapolado

El total de semillas germinadas tanto para los tratamientos **BP** como para el **Testigo**, fue el siguiente:

BP 1: De 200 semillas germinaron 187.

BP 2: De 200 semillas germinaron 175.

Testigo: De 200 semillas germinaron 123.

El total de semillas germinadas de los tratamientos **BP** fue de 362, de las cuales se enchapolaron 312 plántulas, desechando 50 que no fueron aptas según el reglamento interno de Supracafé. En cuanto al testigo, de 123 semillas germinadas, se enchapolaron 86 plántulas y se desecharon 37 que no eran óptimas.

Durante la primera semana de establecidas las chapolas en el almácigo (vivero), se registraron quemaduras radiculares en 39 plántulas **BP** debido a que la pulpa se encontraba aún inmadura en el momento de la preparación del abono.

Figura 10

Chapola afectada por el sustrato inmaduro.



Nota: Se puede distinguir la afectación en las hojas con clorosis debido a la pulpa inmadura.

Esta fitotoxicidad fue controlada mediante la intensificación de la bioestimulación radicular con **SR Plus** ya que su acción bioestimulante acondiciona y solubiliza los nutrientes esenciales en suelos y sustratos agrícolas, y también aumenta la masa radicular del sistema de raíces.

La bioestimulación foliar se hizo con la formulación **SR** que contribuye a la absorción de energía ATP y fijación de compuestos atmosféricos como el N_2 , CO_2 y O. Las bacterias fotosintéticas se activan para una mayor producción de fotosíntesis, agua, carbohidratos, oxígeno y azúcares intercambiables, lo que permitió conservar 273 plántulas viables del tratamiento.

Figura 11

Chapolas recuperadas



Nota: Si bien es cierto que las chapolas se vieron afectadas por quemaduras, acá se puede apreciar como el tratamiento de choque permitió fortalecer las plántulas que cuentan con más follaje y vigorosidad.

Desarrollo Radicular

Ambos grupos mostraron raíces principales de buen largor (>18 cm), sin embargo, el grosor fue mayor en las plántulas **BP** 9,3 cm vs.6,6 cm en el testigo, indicando mayor cantidad de raíces secundarias y pelos absorbentes. Este comportamiento refuerza la hipótesis de que la bioestimulación de las semillas mejora la capacidad de absorción de agua y nutrientes en estadios tempranos.

Figura 12

Desarrollo radicular.



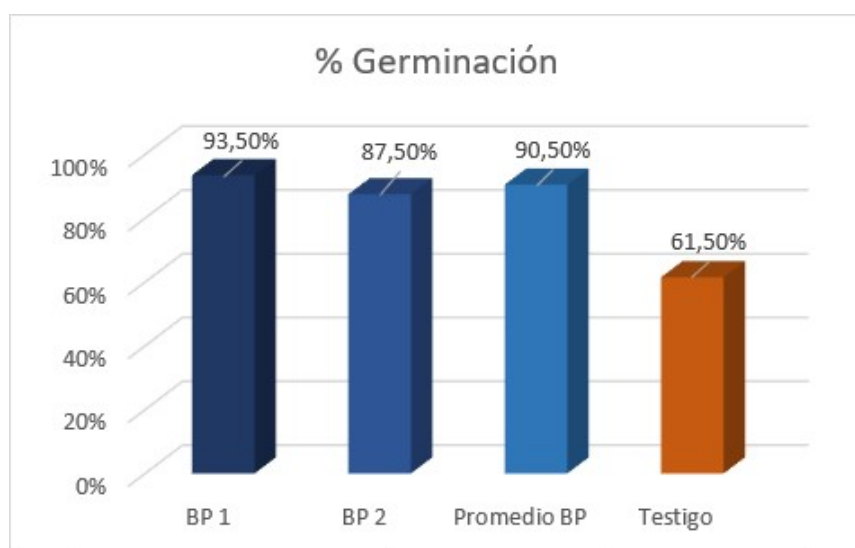
Nota: Diferenciación morfológica radicular de las plántulas en cuanto a longitud, volumen y abundancia de raíces secundarias de los tratamientos vs el testigo.

Estado Fitosanitario

No se observaron afectaciones fitosanitarias graves en ninguno de los tratamientos y las medidas preventivas funcionaron de manera adecuada. En el caso de las plántulas **BP**, la clorosis inicial fue correctamente diagnosticada como efecto del sustrato inmaduro y no de un patógeno.

Comparación de variables Post-germinación entre tratamientos.**Figura 13**

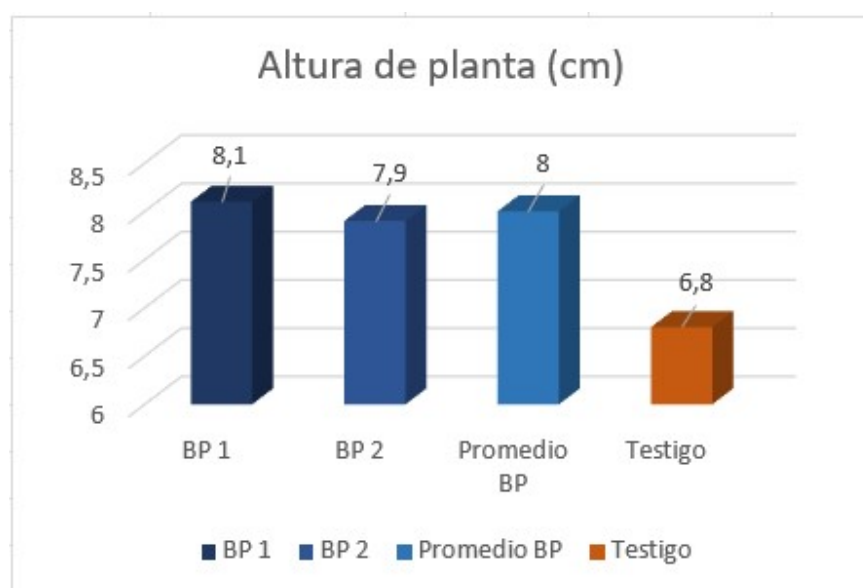
Porcentaje de germinación.



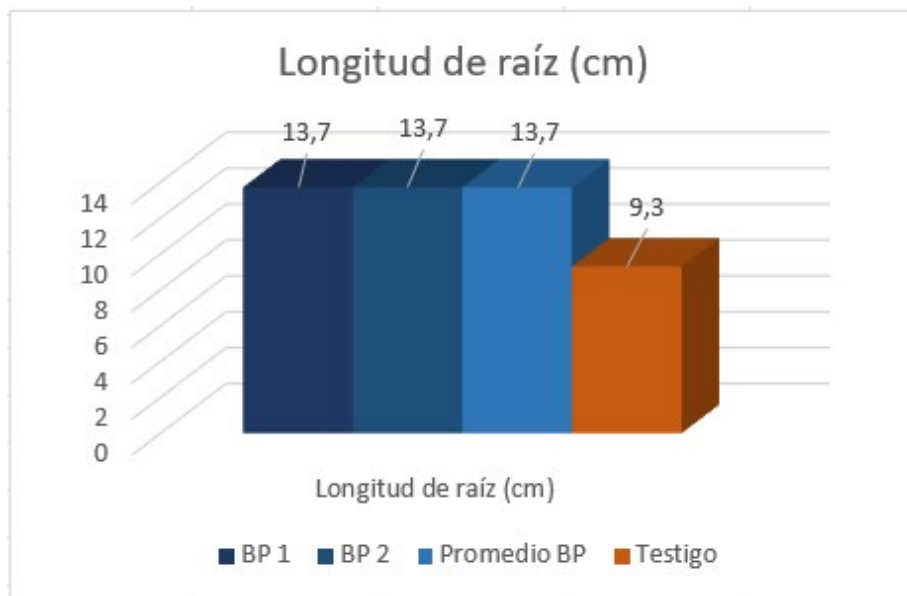
Nota: Los tratamientos **BP** demostraron una eficacia superior en la tasa de germinación en comparación con el grupo testigo, alcanzando un promedio de éxito del 90,50%.

Figura 14

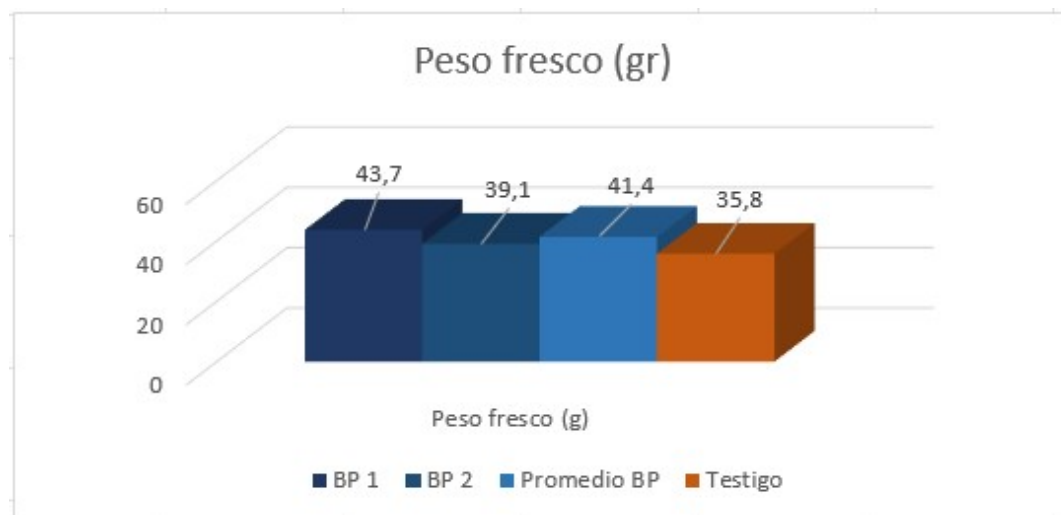
Altura de la planta



Nota: Los resultados de la figura 14 confirman que los tratamientos **BP** influyen positivamente en el desarrollo vegetativo, logrando una altura promedio de 8 cm, lo cual representa un incremento del 17,6% respecto al grupo testigo (6,8 cm).

Figura 15*Longitud de raíz*

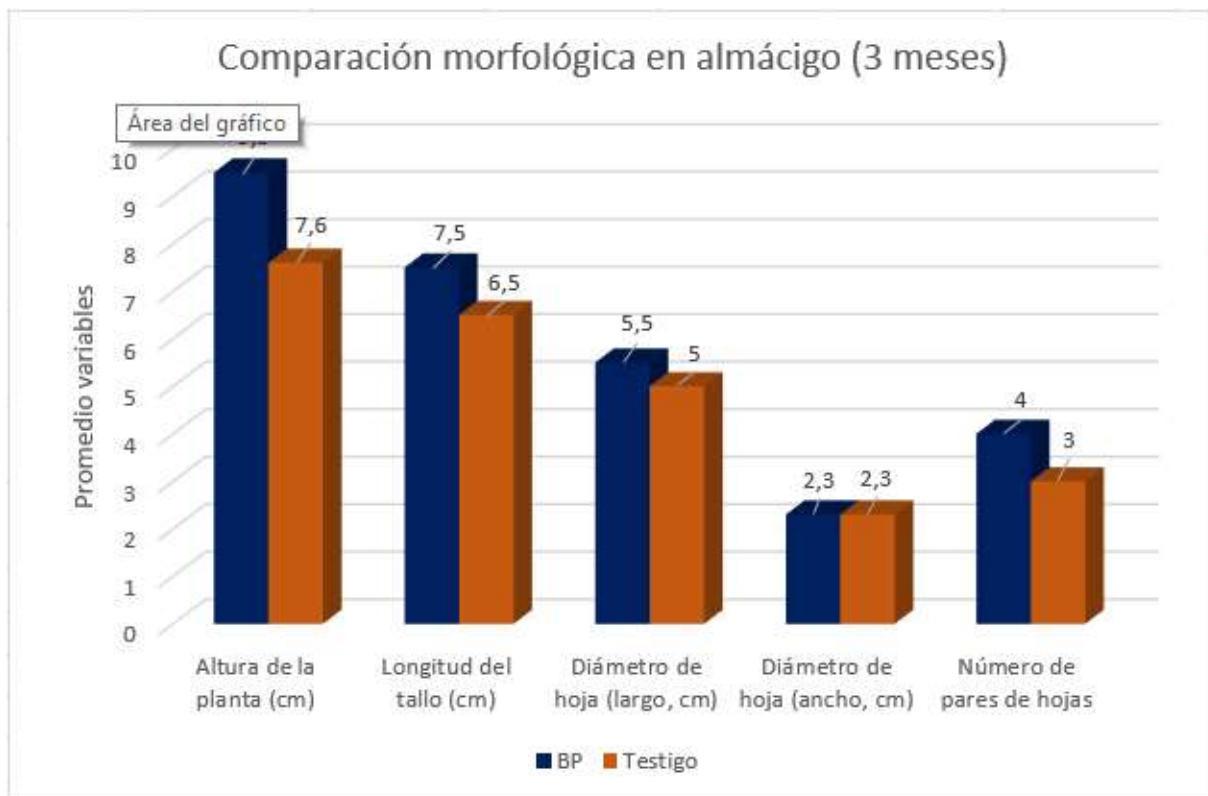
Nota: En la figura 15, el resultado del sistema radicular es casi de un 50% más largo en las plantas tratadas, lo que sugiere que los tratamientos **BP** son extremadamente efectivos para fortalecer la absorción de nutrientes y el anclaje de la planta.

Figura 16*Peso fresco*

Nota: El tratamiento **BP 1** por sí solo es un 22% más pesado que el testigo, mientras que el promedio de los tratamientos supera el control en un 15,6% (5,6 gr de diferencia).

Figura 17

Comparación morfológica en almácigo



Nota: En conjunto, la figura 17 demuestra que los tratamientos **BP** mantienen su superioridad en casi todos los parámetros morfológicos tras tres meses, destacando especialmente en la altura total y la capacidad de producción de follaje (número de hojas).

Desarrollo Morfológico en Vivero

A los tres meses, las plántulas **BP** presentaron mayor desarrollo en cuatro de las cinco variables evaluadas:

Tabla 2

Variables morfológicas en plántulas de café a los 3 meses en vivero.

Variable	BP	Testigo
Tallo (cm)	7,5	6,5
Altura de Planta (cm)	9,5	7,6
Diámetro Hoja Largo (cm)	5,5	5,0
Diámetro Hoja Ancho (cm)	2,3	2,3
Pares de Hojas	4	3

Nota: Comparación de los promedios obtenidos en las variables morfológicas de crecimiento aéreo de las plantas tras tres meses de evaluación.

Estos resultados reflejan un estímulo evidente en la fisiología de las plántulas tratadas, probablemente asociado a la sinergia entre nutrientes orgánicos disponibles en la pulpa compostada y los efectos del **SR Plus** sobre la división y elongación celular.

Tabla 3

Comparación de variables morfofisiológicas post-germinación entre tratamientos.

VARIABLE	BP1	BP 2	PROMEDIO BP	TESTIGO
% GERMINACIÓN	93,5 %	87,5 %	90,5 %	61,5 %
SEMILLAS NO GERMINADAS (#)	13	25	19	77
ALTURA DE PLANTA (cm)	8,1	7,9	8,0	6,8
LONGITUD DE TALLO (cm)	6,5	6,4	6,45	5,5
LONGITUD DE RAÍZ (cm)	13,7	13,7	13,7	9,3
PESO FRESCO (g)	43,7	39,1	41,4	35,8

Nota: Datos estadísticos y morfofisiológicos obtenidos tras la etapa de germinación para los tratamientos BP1, BP2 y Testigo.

La tabla 3 muestra que los tratamientos con bio-estimulación presentaron un mayor porcentaje de germinación (90,5% en promedio) frente al tratamiento convencional (61,5%), lo cual indica un efecto positivo de la activación fisiológica en la etapa temprana del desarrollo de la planta.

Tabla 4

Evaluación del desarrollo radicular a los 3 meses.

VARIABLE	BP	TESTIGO	DIFERENCIA
LONGITUD RAÍZ (cm)	18,6	20,5	-1,9
ANCHO RADICULAR (mm)	9,3	6,6	+2,7
OBSERVACIÓN CUALITATIVA	Mayor número de raíces secundarias, raíces más gruesas	Raíz principal larga pero delgada	-

Nota: Análisis comparativo cuantitativo y cualitativo del sistema radicular a los tres meses de evaluación en vivero.

La tabla 4 muestra que los tratamientos con bio-estimulantes presentaron un mayor incremento en ancho radicular de las plantas (9,3 cm) frente al tratamiento convencional (6,6 cm), lo cual indica un mayor número de raíces secundarias, terciarias y pelos absorbentes lo que garantiza un mejor desarrollo de la planta.

Análisis Económico de la Inversión

Tabla 5

Consolidado de bioinsumos BP para las etapas de germinador y vivero

Producto	Cantidad Sugerida	Precio Galón	Inversión Total
SR Plus	3 galones	\$304.763	\$914.289
BioN	2 galones	\$366.844	\$733.688
BioF	1 galón	\$366.844	\$366.844
Total, Inversión			\$2'014.821

Nota: Costos proyectados para el plan de bioestimulación y nutrición vegetal.

Análisis de Eficiencia Agronómica

- Costo por plántula protegida: \$366 pesos.
- Seguridad frente a fitotoxicidad.
- Respuesta radicular.

Tabla 6

Consolidado de inversión bioinsumos BP 1° año (1 Ha)

Fase	Insumos Clave	Costo Estimado
Germinador - Vivero (0-5 meses)	SR Plus, BioN, BioF	\$2'014.821
Campo (6-12 meses)	SR Plus, BioN, BioF	\$1'850.000
Total, 1° año		\$3'864.821

Nota: Proyección anual de inversión económica en bioinsumos para una hectárea (1 Ha).

Análisis Técnico

- Optimización de la inversión en cal.
- Resistencia al estrés hídrico.
- Eficiencia del nitrógeno en el suelo.

Tabla 7*Consolidado de inversión modelo convencional 1° año (1 Ha)*

Fase	Insumos Clave	Costo Estimado
Germinador (0-3meses)	Fungicidas de síntesis (Mertect)	\$160.000
Vivero (3 meses)	Mertect, Foliares, enraizantes, aminoácidos, pegantes, Fungicidas, DAP.	\$850.000
Campo (6-12 meses)	Compuestos NPK de levante y siembra	\$4'800.000
Total, 1° año	Manejo de Síntesis Química	\$5'810.000

Nota: Proyección anual de costos para el modelo convencional de síntesis química en una hectárea (1 Ha).

Tabla 8*Cuadro comparativo final: BluePlanet vs. Convencional*

Variable	Modelo BluePlanet	Modelo Convencional	Diferencia / Impacto
Inversión año 1	\$3'864.821	\$5'810.000	Ahorro de \$1'945.179 (33.5%)
Salud Suelo	Regeneración microbiana activa.	Riesgo de acidificación y salinización.	El modelo químico degrada el microbiota.
Seguridad	Productos orgánicos / biológicos.	Requiere periodos de carencia y equipo EPP	BluePlanet No representa riesgos para la salud humana, animal y vegetal.
Fósforo	Solubilización biológica (BioF).	Dependencia total de Cal y DAP.	El BioF aprovecha el Fósforo bloqueado.

Nota: Matriz comparativa final de impacto económico y ambiental: Modelo BluePlanet vs Modelo Convencional. Muestra la diferencia porcentual de ahorro en inversión al consolidado del primer año por hectárea.

Análisis comparativo de inversión: Modelo Biológico vs. Convencional

En este comparativo de modelos de establecimiento de café para una hectárea, se observa una ventaja económica significativa a favor del protocolo de bioinsumos, esta diferencia representa un ahorro real del 33,5% en los costos directos de insumos. No obstante, el beneficio no es únicamente monetario; el ahorro se traduce en una mayor eficiencia del flujo de caja para el productor, además, el modelo biotecnológico elimina los costos ocultos asociados a la degradación del suelo y la fototoxicidad por exceso de sales, factores que en el modelo convencional suelen derivar en costos adicionales de correctivos y resiembras en años posteriores.

Resultados Alcanzados con la Pasantía

El trabajo desarrollado durante la pasantía logró validar de manera práctica la eficacia de las formulaciones de consorcios microbiológicos de BluePlanet Labs en el cultivo de café *Coffe arábica*, renovando el conocimiento teórico de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) en resultados medibles de vigor vegetativo.

Fortalecí la capacidad técnica para el monitoreo y evaluación de variables críticas de crecimiento, permitiendo un análisis estadístico comparativo entre tratamientos biológicos y grupos control, también adquirí experiencia en la identificación y manejo de situaciones de estrés abiótico como la fitotoxicidad radicular inicial, realizando protocolos de rescate biológico que aseguran la supervivencia y el desarrollo de las plántulas.

La pasantía con la empresa BluePlanet Colombia fomentó la capacidad de interpretar datos complejos y observar el comportamiento biológico de las plantas frente a diferentes estímulos, permitiendo emitir recomendaciones técnicas basadas en evidencia científica, así como una adaptación rápida a los retos del entorno agrícola que conlleva el trabajo de campo. La labor de un ensayo de investigación con material vegetal de alto valor genético demandó un alto nivel de compromiso, disciplina, organización y ética profesional en el manejo de los protocolos biotecnológicos de BluePlanet Labs.

Esta experiencia consolidó mi compromiso con la agricultura sostenible, entendiendo que la integración de la biotecnología y el manejo orgánico son la clave para la competitividad del sector cafetero en el departamento del Cauca.

Aportes

Aportes de la Pasante a la Empresa

A la empresa BluePlanet Colombia y Supracafé se les entregó información cuantitativa y cualitativa sobre la eficacia de los bio-estimulantes de BluePlanet Labs en el café *Coffe arábica*, permitiendo hacer ajustes en sus diferentes métodos de manejo convencional que llevan en el cultivo.

Por otra parte, contribuí a la estandarización del uso de la pulpa de café como sustrato orgánico, demostrando que su correcta integración reduce la dependencia de fertilizantes de síntesis química, también documenté el fenómeno de fitotoxicidad inicial en el sustrato, lo que permitió establecer las medidas preventivas para asegurar que el abono orgánico esté completamente estabilizado antes de su uso.

Aportes a la Universidad

La pasantía sirvió como puente de transferencia tecnológica entre la UNAD y BluePlanet Colombia, al tiempo que demostré la capacidad del egresado unadista para liderar procesos de investigación de campo aplicando conocimientos de fisiología vegetal, microbiología de suelos y estadística en entornos reales de producción.

Se aportó al repositorio académico un informe técnico detallado sobre el uso de consorcios microbianos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) en el cultivo de café, el cual puede servir de material de consulta para otros estudiantes de Agronomía interesados en agricultura sostenible y economía circular. También reforcé el compromiso de la universidad con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), mediante la ejecución de proyectos que priorizan el aprovechamiento de residuos y el uso de biológicos sobre elementos de síntesis química.

Conclusiones

La inoculación de semillas con el consorcio bacteriano **SR Plus** optimizó significativamente la cinética de la germinación alcanzando una tasa de éxito del 93,5% en el tratamiento **BP 1**, lo que representa un incremento del 52% en la viabilidad respecto al manejo convencional.

Se confirmó que la bio-estimulación temprana induce un vigor superior en la etapa de “chapola” evidenciado por un peso fresco de 41,1 gr, lo cual sugiere una activación enzimática eficiente que mejora la movilización de reservas durante el rompimiento de la latencia seminal.

El tratamiento biotecnológico resultó en un desarrollo vegetativo superior en todas las variables evaluadas, destacando un incremento del 25% en altura y una precocidad foliar de 33,3%, lo que garantiza una mayor capacidad fotosintética antes del trasplante definitivo.

La arquitectura radicular evidenció una respuesta diferencial positiva bajo estimulación, logrando un ancho radicular de 9,3 mm frente a los 6,6 mm del testigo, lo cual indica mayor densidad para la exploración del sustrato.

Se determinó que el uso de la pulpa de café con un grado de maduración incompleto puede causar fitotoxicidad radicular y clorosis en el follaje de la plántula; sin embargo, el plan de manejo que se desarrolló para contrarrestar estos efectos y recuperar las plántulas permitió la supervivencia de 252 plántulas. La resiliencia observada demuestra que los consorcios bacterianos no solo promueven el crecimiento, sino que fortalecen la tolerancia al estrés abiótico, validando su uso como seguro biológico ante variaciones en la calidad del sustrato orgánico.

Se concluye que la sinergia entre el abono orgánico de pulpa de café y la bio-estimulación microbiológica garantiza un estado fitosanitario óptimo sin presencia de patógenos fúngicos o radiculares.

Recomendaciones

A la empresa BluePlanet Colombia se recomienda fortalecer y dar continuidad al convenio de cooperación con la UNAD, estableciendo un programa permanente de validación biotecnológica en campo. Los resultados obtenidos demuestran que la vinculación de pasantes universitarios permite a las empresas documentar con rigor científico la eficacia de los bioinsumos, transformando las pruebas operativas en activos de conocimiento técnico que respaldan la calidad y sostenibilidad de la marca.

A la universidad se sugiere integrar los resultados de esta pasantía como un caso de estudio regional dentro del programa de agronomía, con el fin de demostrar a la comunidad académica cómo la interacción entre la biotecnología aplicada a subproductos responde de manera efectiva a los retos productivos del departamento.

A los futuros pasantes se les aconseja desarrollar una visión analítica frente a los imprevistos técnicos en campo, documentar estos retos en lugar de omitirlos permite proponer soluciones innovadoras, lo que realmente diferencia un ejercicio técnico de una investigación profesional.

Referencias Bibliográficas

Cafés El Magnífico. (s.f.). *Café Arábica: taxonomía y términos*. Recuperado de

<https://cafeselmagnifico.com/cafe-arabica-taxonomia-y-terminos>

Camacho, Pablo & Rojas, Paola & Meneses, Catalina & Chaves Garita, Olger & Naranjo, Víctor.

(2024). Evaluación del biofertilizante generado por el lixiviado del compost de la pulpa de café. *Repertorio Científico*.

https://www.researchgate.net/publication/382247049_Evaluacion_del_biofertilizante_generado_por_el_lixiviado_del_compost_de_la_pulpa_de_cafe

Carvalho, F.P. & França, André & Franco, Miguel Henrique & Avelar, Moisés & Moreira,

Samuel & Alecrim, Ademilson & Santos, Jose. (2014). Sensibilidade de plantas de café micorrizadas à herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*.

https://www.researchgate.net/publication/285126435_Sensibilidade_de_plantas_de_cafe_micorrizadas_a_herbicidas

Cervantes Beyra, Rafael & Lizazo, Iván & Alfonso, José & Valdés, Daybelis & Fernández

Váldez, Dayvis. (2014). Efecto de la pulpa de cafeto (*Coffea arábica* l.) variedad arábica sobre propiedades químicas de tres suelos del macizo montañoso Guamuhaya. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.

https://www.researchgate.net/publication/267157644_Efecto_de_la_pulpa_de_cafeto_Coffea_arabica_l_variedad_arabica_sobre_propiedades_quimicas_de_tres_suelos_del_macizo_montanoso_Guamuhaya

Ferrás-Negrín, Yusdel & Bustamante-González, Alberto & Pérez-Salina, Vidalina. (2024).

Ciclos de aplicación de un bioestimulante sobre el desarrollo de plantas de café en viveros. *Agronomía Costarricense*.

https://www.researchgate.net/publication/386157325_Ciclos_de_aplicacion_de_un_bioestimulante_sobre_el_desarrollo_de_plantas_de_cafe_en_viveros

Moreno Reséndez, Alejandro, Carda Mendoza, Verónica, Reyes Carrillo, José Luis, Vásquez Arroyo, Jesús, & Cano Ríos, Pedro. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20 (1), 68-83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>

Sadeghian, Siavosh. (2023). Manejo de la nutrición del café durante la etapa de almácigo.

Memorias Seminario Científico Cenicafé.

https://www.researchgate.net/publication/373825907_Manejo_de_la_nutricion_del_cafe_durante_la_etapa_de_almacigo

Velasco-Jiménez, Antonio, Castellanos-Hernández, Osvaldo, Acevedo-Hernández, Gustavo, Aarland, Rayn Clarenc, & Rodríguez-Sahagún, Araceli. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345. Epub 20 de junio de 2020. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>