

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“BIOL DE GUANO DE ISLA Y EL CRECIMIENTO INICIAL
DE *Coffea arabica* Var. Catuaí amarillo”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

BRANDON LUIS ATALAYA ROJAS

LIMA – PERÚ

2023

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

TESIS 22

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 2 | repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 3 | qdoc.tips Fuente de Internet | 1% |
| 4 | repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |
| 6 | www.lamolina.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | www.coursehero.com Fuente de Internet | 1% |
| 8 | dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet | <1% |
| 9 | www.slideshare.net Fuente de Internet | <1% |

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“BIOL DE GUANO DE ISLA Y EL CRECIMIENTO INICIAL
DE *Coffea arabica* Var. Catuaí amarillo”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO
BRANDON LUIS ATALAYA ROJAS**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Constantino Sabino Calderón Mendoza
PRESIDENTE

Dr. Ricardo Roberto Borjas Ventura
ASESOR

Dr. Juan Waldir Mendoza Cortez
MIEMBRO

Ing.Mg.Sc. Leonel Eduardo Alvarado Huamán
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mis padres, Jorge Atalaya Chacón y Bertha Rojas Alarcón, por creer en mí, por haberme formado con buenos sentimientos, hábitos y valores, por ser los mejores guías de mi vida, y por el amor entregado durante todas las etapas vividas los cuales me ayudaron en cada una de las decisiones tomadas.

A ti papá, por tu ejemplo como padre y agricultor cafetalero, por inspirarme y motivarme a ser mejor cada día.

A ti mamá, por haber fomentado en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida; por estar conmigo de forma incondicional enseñándome a valorar todo lo que hago.

A mi hermana, Gladys Atalaya Rojas, por ser una persona ejemplar y estar siempre a mi lado apoyándome en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiar mis pasos y cuidar de mí.

A mis Padres y hermana, por ser el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, y que gracias a su apoyo incondicional pude ejecutar y concluir esta etapa importante en mi vida.

A mi tío Edwin Rojas Alarcón, por compartirme sus conocimientos y transmitirme el amor y pasión por el campo.

A mi asesor, el Dr. Ricardo Roberto Borjas Ventura, por su paciencia y constancia, y sobre todo por las enseñanzas brindadas durante la etapa de esta investigación.

A la Ing. Ítala Flores Torres y al Ing. Elvis Otto por permitirme usar las instalaciones del Instituto Nacional de Innovación Agraria sede Pichanaqui y contribuir en la ejecución de esta investigación.

A Alejandra Rodríguez, por su valiosa amistad y colaboración, lo cual fueron primordiales en la ejecución de esta investigación.

A Melissa Remigio, por su constante apoyo y motivación durante todo este tiempo.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DEL CAFETO | 3 |
| 2.1.1 El café en el mundo..... | 3 |
| 2.1.2 El café en el Perú..... | 3 |
| 2.1.3 Producción de café orgánico en el Perú | 4 |
| 2.2 CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE CAFÉ | 5 |
| 2.2.1 Origen..... | 5 |
| 2.2.2 Clasificación taxonómica | 5 |
| 2.2.3 Características morfológicas del cafeto..... | 6 |
| 2.2.4 Variedad Catuaí amarillo | 8 |
| 2.2.5 Potencial nutracéutico del café..... | 9 |
| 2.3 EL BIOL..... | 10 |
| 2.3.1 Ventajas y desventajas | 10 |
| 2.3.2 Preparación..... | 11 |
| 2.4 EL GUANO DE ISLA | 13 |
| 2.5 MANEJO DEL CAFÉ A NIVEL DE VIVERO | 13 |
| 2.5.1 Construcción del vivero | 14 |
| 2.5.2 Selección de la semilla | 14 |
| 2.5.3 Germinador..... | 15 |
| 2.5.4 Embolsado..... | 16 |
| 2.5.5 Aplicación del biol | 17 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 18 |
| 3.1 MATERIAL VEGETAL..... | 18 |
| 3.2 BIOLES..... | 19 |
| 3.2.1 Aplicación de los bioles | 19 |
| 3.3 TRATAMIENTOS..... | 20 |
| 3.4 MANEJO AGRONÓMICO | 21 |
| 3.4.1 Germinador..... | 21 |
| 3.4.2 Almácigo | 21 |
| 3.4.3 Repique | 22 |
| 3.4.4 Riego | 23 |
| 3.4.5 Control de malezas..... | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.6 Control de plagas y enfermedades..... | 24 |
| 3.5 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES | 24 |
| 3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 25 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES | 26 |
| 4.1 EFECTO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PLANTA DE CAFÉ | 27 |
| 4.2 EFECTO EN LA BIOMASA FRESCA Y SECA DE LA PLANTA DE CAFÉ..... | 29 |
| 4.3 EFECTO EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LA PLANTA DE CAFÉ..... | 31 |
| 4.4 EFECTO DEL GUANO DE ISLA EN LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS BIOLES | 33 |
| 4.5 EFECTO EN LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUSTRATO..... | 37 |
| V. CONCLUSIONES | 39 |
| VI. RECOMENDACIONES | 41 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA..... | 42 |
| VIII. ANEXOS..... | 54 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Composición química del guano de isla..... | 13 |
| Tabla 2: Tratamientos aplicados en el experimento con café Var. Catuaí amarillo..... | 20 |
| Tabla 3. Características del sustrato utilizado en el ensayo de café en vivero..... | 22 |
| Tabla 4. Características del agua utilizada en el riego del café en vivero..... | 23 |
| Tabla 5. Datos hidrometeorológicos..... | 26 |
| Tabla 6. Características químicas del guano de isla..... | 34 |
| Tabla 7. Características físico químicas del sustrato durante el experimento..... | 38 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Principales actividades realizadas durante la parte experimental | 18 |
| Figura 2. Refrigeración de bioles con diferentes días de fermentación..... | 19 |
| Figura 3. Aplicación de los bioles a los distintos tratamientos. | 20 |
| Figura 4. Uso de Root Hor para las raíces de las plántulas de café..... | 23 |
| Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento del café. | 28 |
| Figura 6. Efecto del fermento de guano de isla sobre el peso fresco del café..... | 30 |
| Figura 7. Efecto del fermento de guano de isla sobre el peso seco del café..... | 31 |
| Figura 8. Contenido de macronutrientes del café <i>Coffea arabica</i> Var. Catuaí amarillo determinados en este ensayo..... | 32 |
| Figura 9. Contenido de micronutrientes del café <i>Coffea arabica</i> Var. Catuaí amarillo determinados en este ensayo..... | 33 |
| Figura 10. Características químicas de los bioles utilizados en este ensayo. | 35 |
| Figura 11. Características químicas de los bioles utilizados en este ensayo. | 36 |
| Figura 12. Características químicas de los bioles utilizados en este ensayo. | 37 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Elaboración del sustrato para el vivero de café. | 54 |
| Anexo 2. Resultados del análisis completo del sustrato de vivero. | 54 |
| Anexo 3. Elaboración del germinador de café. | 55 |
| Anexo 4. Instalación del estudio. | 55 |
| Anexo 5. Resultados del análisis completo del guano de isla. | 56 |
| Anexo 6. Elaboración de los bioles a base de guano de isla. | 56 |
| Anexo 7. Análisis completo del biol guano de isla con 15 días de fermentación. | 57 |
| Anexo 8. Análisis completo del biol guano de isla con 30 días de fermentación. | 57 |
| Anexo 9. Análisis completo del biol guano de isla con 45 días de fermentación. | 58 |
| Anexo 10. Aplicación de los bioles a los distintos tratamientos del experimento. | 58 |
| Anexo 11. Evaluación de los distintos tratamientos del experimento. | 58 |
| Anexo 12. Plántulas de café representativas de cada tratamiento | 59 |
| Anexo 13. Procedimiento para determinar el porcentaje de materia seca..... | 59 |
| Anexo 14. Secado en estufa de las plántulas de café..... | 59 |
| Anexo 15. Sustratos de cada tratamiento previo análisis completo. | 60 |
| Anexo 16. Resultados del análisis completo del sustrato del Tratamiento 0. | 60 |
| Anexo 17. Resultados del análisis completo del sustrato del Tratamiento 1. | 60 |
| Anexo 18. Resultados del análisis completo del sustrato del Tratamiento 2. | 61 |
| Anexo 19. Resultados del análisis completo del sustrato del Tratamiento 3. | 61 |
| Anexo 20. Análisis completo del agua utilizada para el riego del vivero. | 61 |
| Anexo 21. Resultados de los análisis de nutrientes del Tratamiento 0..... | 62 |
| Anexo 22. Resultados de los análisis de nutrientes del Tratamiento 1..... | 62 |
| Anexo 23. Resultados de los análisis de nutrientes del Tratamiento 2..... | 63 |
| Anexo 24. Resultados de los análisis de nutrientes del Tratamiento 3..... | 63 |

RESUMEN

La productividad de una plantación de café es resultado de la calidad de las plántulas traídas del vivero, y para el adecuado crecimiento y desarrollo de estas, la fertilización desempeña un rol importante. Por ello, la finalidad principal del presente trabajo fue evaluar el comportamiento y crecimiento inicial del café *Coffea arabica* Var. Catuai amarillo en etapa de vivero ante la aplicación de biol de guano de isla con distintos tiempos de fermentación (T0: control; T1: 15 días; T2: 30 días y T3: 45 días). Los resultados obtenidos mostraron que el tiempo de fermentación tuvo un efecto positivo sobre el contenido de N, P y Cd en el biol, mientras que para el contenido de K y Na el efecto fue negativo. Además, no se encontró diferencias estadísticas para el pH y CE (alrededor de 80 dS/m) entre los tratamientos, lo que indica que el guano de isla utilizado en esta investigación presentó un exceso de sales y puede explicar la inhibición del crecimiento de las plántulas tras su aplicación. También se observó que a medida que aumentó el tiempo de fermentación, hubo un incremento en el contenido K, Ca y Mg en el sustrato, y en consecuencia de la CIC. Por otro lado, se observó un incremento significativo en el contenido de N y micronutrientes como Zn, Mn, Fe y Cu en las plántulas tratadas, mientras que la absorción de otros nutrientes como P, K, Ca y Mg fue interrumpida. Finalmente, el T0 presentó plantas mejor desarrolladas y con el mayor valor para todas las variables morfológicas, excepto para longitud de raíces donde no se vieron diferencias significativas. Se concluye que la aplicación de biol en base de guano no fue efectiva para la mejora de la calidad de plantines de café en este estudio.

Palabras clave: Plántulas de café, vivero de café, biol, abonos orgánicos.

ABSTRACT

Productivity of a coffee plantation depends on the quality of the seedlings brought from the nursery, and for the adequate growth and development of these, fertilization plays an important role. Thus, the main purpose of the present work was to evaluate the performance and initial growth of coffee *Coffea arabica* Var. Catuai amarillo in the nursery stage, after the application of island's guano biol (fermented liquid fertilizer) with different fermentation time (T0: control; T1: 15 days; T2: 30 days and T3: 45 days). The results showed that fermentation time had a positive effect on the N, P and Cd content of the island guano biol, while the effect on K and Na content was negative. Moreover, there were no statistical differences for pH and EC (around 80 dS/m) between treatments, which indicates that the biol used in this research presented too much salinity and may explain the seedlings' growth inhibition after its application. It was noticed that the fermentation time also caused an increase in K, Ca and Mg substrate content, and therefore, in CEC. On the other hand, there was a significant increase in N content and micronutrient content like Zn, Mn, Fe and Cu in biol treatments, whereas the absorption of other nutrients like P, K, Ca and Mg was interrupted. Finally, T0 displayed better developed plants and the highest value for all morphological variables, except for root length where no significant difference was shown. It is concluded that in the present study, the island guano biol application was ineffective for the coffee seedlings' quality improvement.

Keywords: Coffee seedlings, coffee nursery, liquid fermented fertilizer, organic fertilizer.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la llegada del cultivo de café al Perú, el país se ha mantenido como uno de los primeros productores a nivel mundial, por lo que su comercialización es de gran importancia para la economía nacional, a pesar de haber sido desplazado en los últimos años por otros cultivos de gran valor como la uva de mesa, palta y arándanos (ICO, 2021). En la actualidad, se estima que alrededor de dos millones quinientos mil peruanos participan en la cadena de valor de la industria cafetalera, desde el comercio, procesamiento hasta el transporte de este producto (Cahuapaza, 2016). No obstante, la competitividad del mercado y conflictos socio-ambientales ha conllevado a cambios en los sistemas de producción. Algunos países apostaron por la intensificación del cultivo y manejo de altas densidades con gran consumo de agroquímicos, mientras que otros países como el Perú optaron por la adopción voluntaria de prácticas de manejo sostenible, que demanda una inversión menor y permite el ingreso del país en el mercado del café orgánico (Harvey et al., 2021). Sin embargo, bajo este sistema de producción los rendimientos son bajos, por lo que una de las prioridades en la política nacional de café debe incluir el desarrollo de tecnologías sostenibles que permitan aumentar la productividad y mejorar la calidad del café peruano.

Una de las claves del buen crecimiento y desarrollo del café, y por lo tanto del alto rendimiento del café, es la producción de plántulas de gran calidad, lo que es un gran desafío dentro del sistema de producción orgánica. En tal sentido, es crucial buscar alternativas sustentables que puedan ser usadas por los caficultores, como el uso del biol hecho a base de guano de isla en etapa de vivero. El guano de isla es un abono natural con alto contenido de nutrientes y de fácil asimilación por las plantas, con la capacidad de mejorar el desarrollo de raíces, tallos y hojas, ya que contiene todos los nutrientes necesarios para una buena nutrición de las plantas y en mayor porcentaje que otros fertilizantes orgánicos (González, 2011). El uso de abonos orgánicos, además, disminuye el uso de fertilizantes sintéticos con lo cual se reduce de manera significativa el impacto ambiental del cultivo.

Por ello, el presente estudio se realizó con el objetivo general de evaluar el efecto del tiempo de fermentación del biol a base de guano de isla sobre la calidad del biol y las plántulas de café var. Catuaí amarillo fertilizadas con este en etapa de vivero. Asimismo, tuvo como objetivos específicos el análisis químico y nutritivo de los bioles con distinto tiempo de fermentación, así como la cuantificación de su efecto sobre las características morfológicas de altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, peso fresco y seco de la planta y longitud de raíces, y el contenido de nutrientes del sustrato y de las plantas de café en cada tratamiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DEL CAFETO

2.1.1 El café en el mundo

El origen del café arábico surge a una altitud de 1300 a 2000 msnm, en las montañas del suroccidente de Etiopía, ubicada en el continente africano (Villacis y Aguilar, 2016). Según Philipps (2017) técnicamente, el café se produce, procesa y transporta de formas muy diferentes, formando parte de policultivos tradicionales y de múltiples asociados. Del mismo modo, ya sea en sus inicios o en la actualidad, se estableció y produjo bajo condiciones de pleno sol.

Hace más de dos siglos, el café (*Coffea arabica* L.) inició su producción en Centroamérica. Según la FAO (2004), América Latina y el Caribe seguirán siendo las principales regiones productoras de café del mundo, Brasil es el principal productor de café del mundo, seguido de Colombia y Vietnam. De esa forma, COFENAC (2012) confirmó que la región con mayor producción de café es América del Sur, seguida de Asia y Oceanía, seguida de África, México y Centroamérica.

2.1.2 El café en el Perú

Entre los años 1740 a 1760, el café fue cultivado por primera vez en el Perú, en la provincia de Chinchao (Huánuco); luego se fue extendiendo por todo el país, llegando al Valle del Chanchamayo en el año de 1850, posteriormente se logró realizar la primera exportación de café con destino a Alemania en el año de 1887 (Jarata, 2015).

El café es fuente de sustento económico de más de 223 mil familias dedicadas a la producción de café y actualmente viene siendo el principal producto de exportación del país (Díaz y Willems, 2017). En primera instancia, el 98.6% de las plantaciones de café están distribuidas en los departamentos de: Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Huánuco, Junín, Pasco, Piura, Puno y San Martín, para un total de 17 regiones productoras de café

pergamino, llegando a tener para el 2016 una superficie de producción de 383 973 ha (Solidaridad, 2016).

El rendimiento promedio del café es bajo en comparación con otros países productores, con una media nacional en los últimos años de 600 a 800 kg/ha, valor que ha ido mejorando hasta alcanzar un rendimiento nacional promedio de 1011 kg/ha en el año 2019 gracias a la entrada en producción de los nuevos cafetales que se plantaron en el 2016 (MIDAGRI, 2020).

En el Perú solo se cultiva Café Arábico, principalmente de las variedades Typica, Caturra, Catimor, Pache y Bourbon. La variedad Typica solía ser la más sembrada por su alto rendimiento y calidad de taza, pero debido a su susceptibilidad a la roya se empezó a reemplazar por Catimor, que es más resistente a la roya y logra una mayor producción, aunque con menor calidad de taza (Díaz y Willems, 2017).

2.1.3 Producción de café orgánico en el Perú

Desde los primeros registros del cultivo de café en 1760, su producción se ha expandido y fortalecido a lo largo de los años, gracias a la capacidad de los productores de enfrentar y resolver crisis tanto internas como externas, con estrategias como la formación de cooperativas y la innovación. Es así como a inicios de los años 90 se observó el incremento de la demanda internacional por café orgánico, y distintas cooperativas decidieron aprovechar el mercado y obtener ventajas en precio al cambiar su sistema de producción (Cahuapaza, 2016). Es así que en el 2018, el Perú resaltó como el principal proveedor de café orgánico de Europa al lograr exportar 40 mil toneladas a la región, concentrando el 31% de las importaciones de este producto, y el segundo productor a nivel mundial luego de Etiopía (CBI, 2020). Hoy en día, de acuerdo a la Organización Internacional del Café (ICO, 2021), el Perú es el exportador líder de café con certificación orgánica y Fair Trade (comercio justo).

Las diferentes certificaciones representan una iniciativa basada en el mercado para actuar ante la problemática ambiental y social de los países en desarrollo, y ofrecen a los agricultores una etiqueta para sus productos sujeta a inspecciones periódicas para verificar que se realicen las prácticas adecuadas de manejo. Si bien la certificación tiene el potencial generar beneficios económicos para los productores como mejores precios y mercados

exclusivos, en la realidad no se han encontrado resultados consistentes en este aspecto (Ibanez y Blackman, 2016). Además, aunque el aumento en el número de plantaciones certificadas de café orgánico ha logrado impactos positivos sobre el medio ambiente y la calidad de vida de los productores, también ha creado una brecha respecto a aquellos que no pueden acceder a la certificación (Caviedes y Olaya, 2020). De acuerdo al estudio de Mamani (2015) respecto a los factores que influyen en el acceso de los productores a la certificación orgánica, se encontró que los varones con experiencia en el cultivo que han recibido asistencia y capacitación técnica, cuentan con acceso a financiamiento y son participantes en asociaciones, comités o cooperativas tienen más facilidades para acceder a esta. Por ello, es necesario fortalecer el mercado del café orgánico peruano e integrar a todos los miembros de la cadena de valor y lograr un desarrollo sostenible.

2.2 CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE CAFÉ

2.2.1 Origen

Coffea arabica es la única especie poliploide del género *Coffea* y muestra 4 copias de 11 cromosomas ($2n = 44$) como resultado de la hibridación entre los diploides *C. eugenioides* y *C. canephora*, o ecotipos relacionados a estas especies, por lo que se trata de un alotetraploide (Lashermes et al., 1999). Se estima que la aparición de esta especie ocurrió hace 1.08 millones o 543 000 años atrás y estaría relacionado a cambios en las condiciones ambientales en África del este (Bawin et al., 2020).

2.2.2 Clasificación taxonómica

El café se encuentra dentro del género *Coffea*, que pertenece a la familia Rubiaceae, y donde se agrupa a la mayoría de los cultivos tropicales. Desde el punto de vista económico, el género *Coffea* es el miembro más importante de esta familia (Rojo, 2014). Sin embargo, dentro del género *Coffea*, solo tres especies se cultivan de manera comercial, en el siguiente orden de importancia: *Coffea arabica* L., *C. canephora* y *C. liberica* Bull (Rojas, 1994).

Según Alvarado y Rojas (2007), el café tiene la siguiente clasificación taxonómica:

- Reino: Plantae
- Tipo: Espermatofitas
- Subtipo: Angiospermas
- Clase: Dicotiledóneas
- Orden: Rubiales
- Familia: Rubiaceae
- Género: Coffea
- Sub-género: Eucoffea
- Especies: *C. arabica*, *C. canephora*, *C. liberica*, *C. dewei*

2.2.3 Características morfológicas del cafeto

La morfología del cafeto presenta ciertas diferencias entre variedades y según el ambiente en el que se desarrolla, sin embargo, de manera general pueden mencionarse algunas características generales de sus órganos vegetativos y reproductivos.

Las raíces desempeñan un rol vital en el desarrollo y crecimiento de las plantas al brindar soporte y anclaje al suelo, así como participar en el transporte de agua y minerales (Raven et al., 1999), y en el caso de la planta de café, el sistema radicular está constituido por una raíz principal o pivotante, muy fuerte que puede llegar a tener una longitud de 50 a 60 centímetros y raíces axiales que penetran verticalmente hasta 2 o 3 metros de profundidad, sobre las que se desarrollan las raíces absorbentes (Duicela y Sotomayor, 1993; Arcila et al., 2007). Suárez de Castro (1953) caracterizó la distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco limoso de Colombia y reportó la presencia del 52,3% de las raíces absorbentes en los primeros 10 centímetros de suelo y el 86% en los primeros 30 centímetros de suelo.

La parte aérea de esta planta se desarrolla a partir de los meristemos localizados en el ápice del tallo, ramas y en las axilas de las hojas, y es a partir de estos puntos de crecimiento que se generan los primordios de nudos, hojas, brotes, ramas y flores (Arcila et al., 2007). En el cafeto, el ápice del tallo y las ramas de crecimiento vertical como tallos y chupones se encargan del crecimiento vertical u ortotrópico, mientras que las ramas de crecimiento

horizontal o ramas primarias, que en su madurez forman ramas secundarias y terciarias, se encargan de la expansión horizontal de la planta (crecimiento plagiotrópico) (CENICAFÉ, 2013). Si se corta el tallo central en la parte apical, las yemas ubicadas en el mismo se convertirán en ramas que crecerán de forma vertical (Christiansen, 2004). Por otro lado, las ramas primarias no se pueden renovar, por lo que al perderse una de estas por malas prácticas agronómicas, el cafeto pierde una zona importante para la producción de frutos pues se producirán menor número de ramas nuevas, en las que se concentra la cosecha (FNC, 2014).

La importancia de las hojas en las plantas radica en que en ellas se llevan a cabo tres procesos fisiológicos fundamentales que soportan su crecimiento y desarrollo: la fotosíntesis, en la que se sintetizan azúcares al absorber la luz solar; la respiración, en la que se degradan dichos azúcares para producir energía suficiente para todos los procesos de la planta; y la transpiración, mediante la cual la planta mantiene su temperatura estable (Arcila et al., 2007).

Respecto a las hojas del cafeto, Andia (2016) menciona que presentan forma lanceolada a elíptica, llegan a medir de 5 a 12 centímetros de ancho y de 12 a 24 centímetros de largo, y presentan una lámina ondulada, delgada y fuerte. Del mismo modo, el autor indica que la hoja presenta nervaduras prominentes en el envés de la hoja, el cual presenta un color verde claro, mientras que el haz de la hoja es de color verde oscuro y presenta las nervaduras hundidas. Respecto al peciolo de estas hojas, Gómez (2010) lo describe como un peciolo convexo en la parte inferior, mientras que en la parte superior de la hoja es plano y corto. Además, en las ramas plagiotrópicas del cafeto se encuentra una filotaxia opuesta de las hojas, mientras que en las ramas ortotrópicas las hojas crecen de forma alterna y opuesta, rodeadas por dos estípulas agudas.

La floración del café es un proceso estrechamente asociado a factores ambientales, tales como el fotoperiodo, déficit hídrico y la amplitud térmica, y es un estado fenológico asociado directamente con la producción del cultivo, por lo que su estudio e identificación es de especial interés económico (Ramírez et al., 2013). En cada nudo de las ramas del cafeto, se encuentran dos axilas foliares, y en cada una de ellas se encuentran de 3 a 4 yemas, las cuales darán lugar de 4 a 5 flores. Es decir, en un nudo existen potencialmente entre 24 y 32 botones florales (FNC, 2014). Dichos botones crecen estimulados por factores ambientales o endógenos, hasta el cambio de coloración de los pétalos a blanco (preantesis) y la subsecuente apertura de la flor ya fecundada (antesis o florescencia), momento desde el

que transcurrirá en promedio 32 semanas hasta la óptima madurez del fruto (Arcila et al., 2007). *C. arabica* es una especie autógama, lo que significa que al momento de la antesis ya ha ocurrido la fecundación del óvulo por el polen en su mayor parte, aunque se ha comprobado que la polinización a través de abejas aumenta la producción (Amaral, 1960).

El fruto del cafeto es una drupa globular u ovoide de peciolo corto denominada cereza (CENICAFÉ, 2013). La cereza presenta un pericarpio que rodea a las semillas y está formado por tres partes: exocarpio o epidermis, mesocarpio y endocarpio. La pulpa está conformada por el exocarpio o cáscara, la capa externa del fruto que cambia de color de verde o amarillo hasta rojo intenso, violeta o incluso negro durante la madurez, y el mesocarpio, una capa gruesa de tejido esponjoso rico en azúcares que culmina en una capa de pectina, responsable de la capa mucilaginosa que recubre el grano despulpado (Salazar et al., 1994). En la madurez, la pulpa se desprende de la última capa del pericarpio, el endocarpio o pergamino, una capa de tejido duro y frágil.

Las semillas o granos de café son generalmente biloculares, y en cada lóculo se encuentra un tegumento rodeando el saco embrionario, que tras el desarrollo de la semilla queda reducido a una capa de células que recubren al endosperma y se denomina “película plateada” (Arcila et al., 2007). La semilla cuenta con dos partes: el embrión y el endospermo, el primero de largo mide 3.5 mm aproximadamente, mientras que el endospermo ocupa gran parte de la semilla, la cual posee un tamaño polar de 10 a 18 mm y ecuatorial de 6.5 a 9.5 mm (Arcila, 1990). En el beneficiado del café, el producto formado por la semilla y la película plateada es denominado café pergamino y forma parte del café cerezo en un 38 al 55% (Quintana, 2018).

2.2.4 Variedad Catuaí amarillo

Velásquez (2016) menciona que Catuaí es una variedad que se originó en Sao Paulo, Brasil, y tiene como base genética la hibridación artificial entre Mundo Novo (Híbrido natural entre Sumatra y Bourbon) y Caturra (mutación de Bourbon). Existen dos variedades de Caturra, de frutos amarillos y fruto rojos, y la cruce de estos ha dado lugar a dos variedades de Catuaí.

De acuerdo a Carvalho et al. (2010) (citado por Ladera, 2017), la cruce de Caturra amarillo IAC 476-11 con Mundo Novo IAC 374- 19 resultó en el híbrido IAC H2077, de cuya población F3 (IAC H2077-2-5) se obtuvo líneas de café homocigotas para porte bajo y para frutos amarillos, cualidades de Caturra amarillo, pero con el vigor y adaptabilidad de Mundo

Novo. Así, esta nueva combinación recibió el nombre de Catuaí Amarillo y fue liberado para su uso comercial por el IAC en 1972. Aunque en Brasil por más de 20 años se consideró que solamente existía un cultivar Catuaí Amarillo con varios linajes, actualmente se usa el término Catuaí Amarillo en referencia a un grupo de cultivar, como, por ejemplo, Catuaí Amarillo cv. IAC 62 y Catuaí Amarillo cv. IAC 74.

Los cultivares de este grupo presentan una altura media de 2 a 3 metros, así como un diámetro de copa de 1.8 a 2 metros, dependiendo de la localidad. Asimismo, desarrollan un sistema radicular vigoroso que puede alcanzar profundidades mayores a los 2 metros. El rendimiento de café verde es en promedio de 2100 kg/ha cuando es sembrado con un distanciamiento de 3.5 por 0.5 metros en regiones con temperaturas altas, aunque se recomiendan distanciamientos mayores en regiones con temperaturas moderadas. Por otro lado, en parcelas irrigadas el rendimiento puede llegar a 3600 kg/ha de café verde.

Esta variedad se recomienda a los pequeños caficultores debido a su excelente calidad de taza, amplia capacidad de adaptación y porte pequeño, que permite altas densidades de siembra y facilita el manejo agronómico, aunque, por otro lado, se trata de cafetos susceptibles a la roya y a los nemátodos (Estrada, 2014). No obstante, en el estudio de López-García et al. (2016) sobre la productividad por planta de distintas variedades de café bajo condiciones de Veracruz, México durante cinco años consecutivos, la variedad Catuaí amarillo obtuvo valores por arriba de los 20 kg/planta, lo que superó a todas las variedades de porte alto evaluadas.

En el Banco de Germoplasma de Café en San Ramón, Chanchamayo, Julca et al. (2018) reportan la presencia de los cultivares IAC 86 e IAC 62, pertenecientes a esta variedad. En su estudio, estos cultivares mostraron porte bajo, ramificación secundaria abundante, maduración media a tardía, susceptibilidad a roya, pero bajos niveles de infestación de broca y excelente calidad de taza.

2.2.5 Potencial nutracéutico del café

El café es una rica fuente de compuestos bioactivos entre los que se encuentran alcaloides como la cafeína (Tran et al., 2018), polifenoles, flavonoides, terpenoides, vitaminas y lípidos de importante acción antioxidante (Saeed et al., 2019; Ali et al., 2022).

Otros compuestos de interés encontrados en los granos de café son los ácidos clorogénicos, obtenidos principalmente de la esterificación de ácido químico con ácido caféico, y han mostrado actividad antioxidante, antiinflamatoria, hipoglucemiante, antidiabética y antimicrobiana, particularmente contra bacterias gram positivas que han desarrollado resistencia a los antibióticos tradicionales (Chaves-Ulate y Esquivel-Rodríguez, 2019; Rojas-González et al., 2022).

2.3 EL BIOL

2.3.1 Ventajas y desventajas

Como actividad económica y de subsistencia, uno de los objetivos principales de la agricultura es la eficiencia, ya que debe proveer alimentos en cantidad y calidad suficiente para una población que aumenta con los años, en un área agrícola cada vez más reducida. Por otro lado, la agricultura también debe ser sostenible, es decir, mantener su capacidad productiva a través de los años, y este objetivo entra en conflicto con el uso de agroquímicos usados convencionalmente para nutrición vegetal y control de plagas, pues genera residuos peligrosos para los seres humanos y el medio ambiente (Chojnacka, 2015).

En ese sentido, en los últimos años ha retomado importancia la utilización de fuentes naturales de nutrientes, tales como excrementos animales, como alternativa a los fertilizantes sintéticos. Los fertilizantes orgánicos tienen la misma función de proveer de nutrientes a las plantas, con la ventaja de que se producen por la descomposición de materia orgánica y por ello son completamente biodegradables y seguros para el agroecosistema, consumidores y operadores agrícolas, además que se producen con un costo de producción mucho más bajo (Chew et al., 2019). Asimismo, los fertilizantes orgánicos tienen la capacidad de mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como mantener la fertilidad natural del suelo al ser una fuente de materia orgánica en el corto y largo plazo (Joergensen et al., 2010; Shaji et al., 2021). Adicionalmente son de fácil acceso, especialmente para los agricultores a pequeña escala afectados por la ineficacia del Estado para responder a sus necesidades materiales y técnicas (Restrepo, 2001). Sin embargo, debe tomarse en consideración que la disponibilidad de este tipo de fertilizantes es limitada, su contenido nutricional y propiedades son inconsistentes y únicos, y funcionan como fertilizantes de liberación lenta porque requieren de un proceso de descomposición para la mineralización y disponibilidad de nutrientes (Aparcana y Jansen, 2008; Bergstrand, 2022). Por último, se ha

reportado que la aplicación de algunos fertilizantes orgánicos ha traído como consecuencia la contaminación del suelo y las plantas con metales pesados como el cadmio, plomo y arsénico (Nookabkaew et al., 2016).

Una de las opciones en el mercado de los fertilizantes orgánicos es el biol, un producto líquido de la fermentación anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica en un biodigestor, del que además se puede obtener biogás, una fuente de energía (Martínez, 2014). En promedio, el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma en biol, aunque es variable según el tipo de material a fermentar y las condiciones de fermentación (Aparcana y Jansen, 2008).

Al igual que otros fertilizantes, el biol es una fuente de macro y micronutrientes, y cuenta con la ventaja que estos son más fácilmente absorbidos por las plantas en comparación a los fertilizantes sólidos, ya que las moléculas presentes están descompuestas, disueltas y son más estables, por lo tanto, no pasarán por cambios bruscos en el pH al degradarse (Anggita et al., 2018; Solihin et al., 2019). Además de ganar popularidad en los últimos años como un fertilizante foliar (Villacis y Aguilar, 2016; Ebel, 2020), su aplicación al suelo también presenta beneficios como la mejora en las propiedades químicas, lo que incluye el aumento en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (Muktamar et al., 2017), la reducción del pH y conductividad eléctrica de un suelo salino-sódico (Li et al., 2022), así como el aumento del pH y disminución del aluminio intercambiable en suelos ácidos (Muktamar et al., 2015), el incremento de actividad biológica del suelo (Nhu et al., 2018) y la promoción del crecimiento y desarrollo de las plantas por tratarse de una fuente natural de hormonas vegetales (Aparcana y Jansen, 2008).

En el cultivo de soya se ha probado que la aplicación de biol es un método efectivo para aumentar el crecimiento y rendimiento del cultivo (Pangnakorn et al., 2010; Herawati et al., 2020). Sin embargo, especies y variedades distintas responden de manera diferenciada a la aplicación del biol (Fahrurrozi et al., 2017; Taisa et al., 2022), por lo que es necesario encontrar la formulación óptima de acuerdo a los recursos disponibles y al cultivo seleccionado (Gordón, 2014; Ebel, 2020).

2.3.2 Preparación

La fermentación anaeróbica de materiales orgánicos es un proceso de descomposición que ocurre por acción de microorganismos en un ambiente con alta humedad (mayor al 60%), a

una temperatura entre los 25 y 30 °C y a un pH ácido entre 4 y 4.5 en la que proliferan hongos como *Saccharomyces* sp (Restrepo et al., 2014). Por ello, la preparación de biol debe llevarse a cabo en un contenedor cerrado llamado biodigestor, que puede implementarse de manera artesanal en baldes herméticos de gran capacidad (como 100 o 200 litros) o mangas de plástico grueso (Pontón, 2011).

A pesar que los insumos utilizados en la preparación del biol son muy variados, en general se necesita: Materia orgánica como estiércol o residuos animales y vegetales, que puede aportar nutrientes para la planta como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, entre otros; melaza, que sirve de alimento para los microorganismos, capaz de aportar vitaminas, minerales, proteínas, grasas y carbohidratos; un inóculo microbiológico que aporte levaduras, hongos, protozoos, y/o bacterias que puedan digerir y metabolizar la materia orgánica como la leche o suero; y agua, que aporta el medio necesario para un buen desarrollo microbiológico (Restrepo, 2001).

Como fuente de materia orgánica se recomienda aprovechar subproductos de la industria agropecuaria, como estiércol, orina, residuos vegetales, residuos animales como vísceras y sangre, cáscaras de huevos, subproductos de la industria alimentaria, así como láctea, aguas residuales, entre otros (Goss et al., 2013; Bernal et al., 2017). Sin embargo, el tipo de residuo orgánico influye significativamente en la calidad nutricional del biol, así como en el pH, por lo que puede ser necesaria la aplicación de cal o ceniza para neutralizar un fermento muy ácido (Aulla, 2020).

Restrepo et al. (2014) indica que para preparar el biol se debe agregar estiércol fresco en el contenedor parcialmente lleno con agua sin cloro y agitar la mezcla con ceniza, melaza disuelta, leche o suero y rastrojo finamente picado, para luego enrasar con agua hasta diez centímetros de la capacidad, cerrar herméticamente y acoplar el extremo de una manguera transparente a la tapa, e introducir el otro extremo a una botella con agua. Un indicio que la fermentación se está llevando a cabo adecuadamente es la formación de burbujas en la botella, y cuando estas ya no se observan es una señal que el biol está maduro y listo para filtrar y usar (Feicán, 2011). Otra manera de monitorear el proceso es a través del pH y la temperatura, que son muy variables en la primera etapa y se estabilizan al culminar la fermentación (Gordón, 2014). Respecto al tiempo que puede tomar el proceso, Enríquez (2022) menciona que en promedio puede tomar 40 días, desde 25 días en climas muy calurosos, hasta 50 días en lugares más frescos.

2.4 EL GUANO DE ISLA

De acuerdo a Borjas (2008), la mezcla de excrementos, plumas y restos de aves guaneras recibe el nombre de guano de isla y es el fertilizante orgánico más completo del mundo, por lo que ha tomado gran importancia en el desarrollo del sector agrícola. Figueroa (1990) menciona que el guano de isla contiene mayor porcentaje de nutrientes que otros fertilizantes orgánicos con un 12% de nitrógeno, 11% de fósforo y 2% de potasio, y tiene el potencial de mejorar las propiedades físicas del suelo. Por otro lado, al igual que todos los fertilizantes orgánicos, su composición es variable y requiere análisis.

Tabla 1. Composición química del guano de isla

| Contenido | Composición |
|-----------------|-------------|
| Nitrógeno | 10 - 13 % |
| Fósforo | 10 - 12 % |
| Magnesio | 0.02 % |
| Potasio | 2 - 3 % |
| Calcio | 1.5 – 1.6 % |
| Sodio | 1.07 % |
| Silicio | 0.36 % |
| Carbón orgánico | 8.29 % |
| pH | 6.5 - 7 % |

Nota: Adaptado de Gonzales (2011).

Asimismo, el guano de isla favorece el desarrollo y crecimiento de las plantas, lo que permite acortar el periodo vegetativo e incrementar los rendimientos. Sin embargo, es necesario evaluar la dosis y frecuencia adecuada según el cultivo (Brow et al., 1987; González, 2011).

2.5 MANEJO DEL CAFÉ A NIVEL DE VIVERO

La etapa de vivero es la fase inicial en la actividad cafetalera y tiene como objetivo producir plantones de calidad de café, para lo cual se empieza por la germinación en el semillero, luego de unas semanas se lleva a cabo el trasplante a un sustrato con mayor cantidad de

nutrientes para así estimular el crecimiento de las plántulas y prepararlas para el campo definitivo (Tut, 2014).

2.5.1 Construcción del vivero

El vivero debe construirse en un terreno plano, nivelado, de fácil acceso y cercano a la plantación definitiva, así como a una fuente segura de agua (Arcila et al., 2007). Dependiendo del tiempo que se planifica hacer uso del vivero, se puede clasificar en temporal o permanente. Debido a que los viveros transitorios o temporales se establecen por periodos cortos de tiempo, constan de estructuras sencillas y de una baja inversión, mientras que los viveros permanentes generalmente cuentan con un costo de instalación mayor, ya que necesita de una infraestructura más compleja que incluya invernaderos, camas de germinación, sistema de riego, almacén, área de servicios a los trabajadores, equipos de monitoreo y un plan de producción y manejo (Quiñones, 2015).

Para un vivero de café, se pueden emplear materiales sencillos que se pueden encontrar en la finca como madera o caña para la estructura y hojas de palma para la cubierta, hasta materiales más especializados y duraderos como cemento, travesaños de hierro y una malla sintética de protección que regule el ingreso de luz, idealmente que provea de un sombreado inicial del 70 a 80% en su interior (Duicela et al., 2004).

2.5.2 Selección de la semilla

Un cultivo de café exitoso comienza con la selección de semillas de calidad fisiológica, genética y fitosanitaria, capaces de producir plántulas de la misma calidad (Jara, 2017). De este modo, la semilla debe provenir de una planta madre que cumpla con ciertos requerimientos: tener entre cinco y ocho años de edad, contar con un abundante número de entrenudos por rama, mostrar un tronco grueso, poca presencia de granos vanos, vigorosidad, alta fructificación, buena forma y calidad del fruto, así como resistencia a plagas y enfermedades (Fischersworing & Robkamp, 2001; Sosa, 2016).

La recolección de semillas es una actividad muy importante que influye directamente en la calidad de las plantaciones de café (Honorio, 2019). Los frutos maduros, sanos y bien formados deben cosecharse de la rama central, entre los brotes de los frutos tercero y noveno, idealmente durante el segundo periodo de cosecha (Fischersworing & Robkamp, 2001).

El beneficio del café para semilla inicia inmediatamente después de la cosecha con el despulpado manual de la cereza o con una despulpadora bien calibrada. Luego, el café despulpado se deja fermentar en recipientes con agua durante 16 a 20 horas y se lavan los granos con abundante agua limpia hasta eliminar todo el mucílago adherido al pergamino. Después, se secan las semillas de manera natural bajo sombra, con buenas condiciones de aireación y sobre un piso de cemento o madera hasta que consiga un contenido de humedad alrededor del 14% (café pergamino). Si el porcentaje de humedad es mayor a este, al poco tiempo puede ocurrir una infección por hongos, y si el ambiente es muy seco, la semilla pierde demasiada agua y puede ocurrir una reducción en la viabilidad y muerte del embrión (Duicela et al., 2004).

La selección de semillas incluye el descarte de granos anormales, pequeños, picados y maltratados por la despulpadora, y escoger solo los granos sanos con puntas redondeadas, ranura recta, buen tamaño, peso y color. Se recomienda utilizar la semilla inmediatamente después del beneficio y selección de semillas para asegurar un alto porcentaje de germinación. De otro modo, la semilla debe almacenarse en bolsas que permitan el ingreso de aire o en recipientes de vidrio bien tapados. Si se conservan a temperatura ambiente, pueden mantener su poder germinativo hasta por dos meses, o hasta cuatro meses bajo almacenamiento en frío y con buena aireación (Arcila et al., 2007).

2.5.3 Germinador

El germinador es el lugar donde se siembra las semillas seleccionadas en un sustrato para su germinación y desarrollo inicial (Gómez, 2010). Este puede construirse como un marco de caña, ladrillo o madera, de más de 20 centímetros de profundidad, y bajo un cobertizo para evitar la exposición directa a los rayos solares, los cambios drásticos de temperatura y el daño por precipitaciones intensas. El sustrato más utilizado es la arena fina y lavada de río debido a que evita los ataques por enfermedades, facilita el buen desarrollo radicular y el trasplante de las plántulas de café. La siembra de las semillas de café se suele realizar al voleo, para lo cual se esparce las semillas sobre el sustrato húmedo, posterior a ello se tapan las semillas con una capa de arena, y se cubre con hojas de bijao, paja o plástico. Con este método, se usa entre medio y un kilogramo de semilla por metro cuadrado de germinador (Fischersworing & Robkamp, 2001; Arcila et al., 2007).

Bajo estas condiciones, la germinación ocurre aproximadamente a los 45 días en la que se observa la primera etapa conocida como “cachaquito”, en la que el hipocótilo se alarga y

eleva los cotiledones fuera de la superficie del suelo, y luego la segunda etapa llamada “mariposa”, en donde las dos hojas cotiledonales se han desplegado y se puede distinguir la calidad de plántulas, entonces el momento recomendado para el trasplante al vivero (Hartmann & Kester, 1982; Columbus y Pulgarín, 2002).

Después de su uso, se puede desinfectar el sustrato por solarización, una técnica ecológica que consiste en cubrir el germinador con plástico transparente y exponerlo a luz directa durante una o dos semanas, de tal manera que la alta temperatura destruye los microorganismos patógenos (Arcila et al., 2007).

2.5.4 Embolsado

En la fase de vivero, las plántulas de café son trasplantadas a bolsas con sustrato. El material de la bolsa más usado en la industria es el polietileno, material de color negro con un espesor de 0.1 milímetros, y con dimensiones comerciales alrededor de los 20 centímetros de alto, 15 a 20 centímetros de ancho y 20 a 25 centímetros de largo. El tamaño que se elija va a depender del tiempo que se planea mantener la planta en el vivero, ya que un menor tamaño implica que la planta puede permanecer menos tiempo en el vivero (Ureña, 2009).

Posteriormente, las bolsas son alineadas en el vivero y llenadas con sustrato, que suele ser una mezcla con las propiedades de aireación y retención de agua suficiente para permitir un adecuado desarrollo de las plántulas (Ballester, 2002). Los insumos más empleados en la mezcla son la tierra de chacra y la pulpa de café descompuesta. La tierra de chacra está compuesta por la parte mineral, formada por la mezcla de arena, limo y arcilla, y un porcentaje de materia orgánica, que no es uniforme y varía de acuerdo al material parental del cual se originó (Jaulis y Pacheco, 2015). La pulpa o cáscara de café es la parte externa del fruto maduro retirado mediante el despulpado. Este componente aporta cantidades variables de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, azufre, hierro, manganeso y boro (Uribe-Henao y Salazar-Arias, 1983), y enriquece de materia orgánica al sustrato, lo que favorece al desarrollo de microorganismos y la microflora del suelo, responsables del desarrollo y la mejora del rendimiento de las plantas (Guerrero, 1996).

En los viveros de café, las patologías más frecuentes son la chupadera, provocado por *Rhizoctonia solani*, y las manchas polvorientas de color naranja presentes en el envés de las hojas, provocado por la roya o *Hemileia vastatrix* (Fischersworing & Robkamp, 2001). Por

ello, se debe regar constantemente y conservar el vivero limpio hasta que las hojas de las plántulas cubran el recipiente (CICAFE, 2011).

2.5.5 Aplicación del biol

Los efectos de la aplicación de biol en la producción de plantines de café ha sido reportado por varios autores (Rojas, 2014; Condori, 2018; Urbina y Tosta, 2018). Los insumos orgánicos utilizados en la elaboración del biol, frecuencia y dosis de aplicación han sido variados y los resultados también, por lo que su eficiencia no está clara. Por otro lado, resultados positivos han sido encontrados e incluyen un aumento en el número de hojas, mayor altura de planta, y menor incidencia de plagas y enfermedades. Asimismo, Villacis y Aguilar (2016) probaron la aplicación de biol con 33% de concentración de manera foliar, y la aplicación al suelo al 61% de concentración, y lograron incrementar el rendimiento del café.

La investigación del mercado de abonos orgánicos para la asociación cafetalera Aprocafé en el distrito de Jamalca, Amazonas realizada por Iliquín (2022) encontró que el 16.34% de los productores encuestados utiliza biol. Asimismo, reportó que el 72% de productores utiliza menos de 5 litros de biol al año, mientras que el 20% utiliza entre 5 y 10 litros al año, y el 8% usa más de 10 litros de biol por año.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) ubicado en el Distrito de Pichanaqui, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín. Las coordenadas geográficas del INIA son 10° 56' 30" latitud sur y 74° 51' 34" longitud oeste, y la altitud de 520 msnm.

Las semillas de café *Coffea arabica* Var. Catuai amarillo que se usaron en esta investigación, fueron procedentes de plantas seleccionadas de la finca cafetalera “La Herencia”, ubicada en el Anexo de Santa Herminia Palomar, Distrito de San Luis de Shuaro, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín. Las coordenadas geográficas de “La Herencia” son 10° 46' 27" latitud sur y 74° 14' 12" longitud oeste, y a una altitud de 1497 msnm.



Figura 1. Principales actividades realizadas durante la parte experimental con café en vivero en Pichanaqui, Chanchamayo, Junín.

3.2 BIOLES

La elaboración de los bioles comenzó el quince de septiembre del 2022, se utilizó 10 kg de guano de isla proveniente de AGRORURAL por cilindro, posteriormente se vertió 40 litros de agua, se batió y se cerró herméticamente dejándolos reposar por diferentes días (15, 30 y 45 días) (Anexo 5 y 6). Una vez cosechados los bioles, estos pasaron a ser refrigerados a una temperatura de 5° C durante el tiempo que duró la parte experimental, con la finalidad de que no continúen su proceso de fermentación.



Figura 2. Refrigeración de bioles con diferentes días de fermentación.

3.2.1 Aplicación de los bioles

Los bioles eran retirados del refrigerador 3 horas antes de ser aplicados a los tratamientos, con la finalidad de que regulen su temperatura con el ambiente. Para la aplicación de los bioles se hizo uso de un perforador de madera, con el cual se realizaron dos hoyos a los bordes de las bolsas y una jeringa para verter el biol en estos agujeros. Las aplicaciones se realizaron cada 15 días durante 3 meses, utilizando 20 ml de la solución obtenida para cada repetición (Anexo 10).



Figura 3. Aplicación de los bioles a los distintos tratamientos.

3.3 TRATAMIENTOS

En este experimento se evaluó el efecto del tiempo de fermentación del biol a base de guano de isla sobre el crecimiento de los cafetos en etapa de vivero. Para tal efecto, las plántulas crecieron por un mes en condiciones de ambiente sin falta de agua, luego del cual los tratamientos fueron aplicados. Los tratamientos fueron: 1) Tratamiento control (C) (plántulas de café que no recibieron ninguna aplicación de biol a base de guano de isla); 2) Plántulas bajo aplicación de biol con 15 días de fermentación (D); 3) Plántulas bajo aplicación de biol con 30 días de fermentación (E); 3) Plántulas bajo aplicación de biol con 45 días de fermentación (F).

Tabla 2: Tratamientos aplicados en el experimento con café Var. Catuaí amarillo

| Tratamientos | Descripción |
|---------------------|-------------------------------------|
| T0 | Control (C) |
| T1 | Biol de 15 días de fermentación (D) |
| T2 | Biol de 30 días de fermentación (E) |
| T3 | Biol de 45 días de fermentación (F) |

3.4 MANEJO AGRONÓMICO

3.4.1 Germinador

Esta etapa tuvo una duración de 63 días, inició el 20 de julio del 2022 y terminó el 21 de septiembre del 2022. El espacio donde se realizó el germinador tuvo una extensión de dos metros de largo, un metro de ancho y 30 cm de altura, y se utilizó arena de río lavada como sustrato.

El tipo de siembra fue a línea continua, y para evitar la muerte de las semillas por acción de los hongos *Fusarium* sp, *Rhizoctonia* sp y *Pythium* sp, se desinfectó las semillas con el fungicida VITAVAX (Carboxin + Captan) a una dosis de 2 g/kg de semilla, y al terminar de colocar las semillas en el germinador, estas fueron cubiertas con una delgada capa de arena. Finalmente, se cubrió el germinador con mantas de costales y hojas de palmera. El riego del germinador se realizaba cada 15 días (Anexo 3).

3.4.2 Almacigo

Esta fase comenzó el veinte y ocho de septiembre del 2022 con el repique de las plántulas de café en estado “Mariposa”, teniendo una duración de 4 meses. Las bolsas de vivero se instalaron en una distribución de 20x8, bajo un techo de malla rashel, el cual estaba ubicado a 2 metros de alto permitiendo el ingreso de un 60% de radiación solar (Anexo 4).

Las bolsas de vivero utilizadas estaban contenidas por un 1 kg de sustrato elaborado de 70% tierra de chacra y 30% pulpa de café descompuesta (Anexo 1 y 2). Las características del sustrato elaborado se determinaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Pichanaqui y se presentan detalladamente en la Tabla 3.

Tabla 3. Características del sustrato utilizado en el ensayo de café en vivero

| Parámetro | Valor |
|--------------------------------|----------------|
| pH | 5.00 |
| Conductividad Eléctrica (dS/m) | 0.04 |
| Materia Orgánica (%) | 6.50 |
| P (ppm) | 23.66 |
| K (ppm) | 110.40 |
| Clase textual | Franco Arenoso |
| Base cambiable (%) | 92.65 |
| Acidez cambiable (%) | 7.35 |
| Saturación de Aluminio (%) | 5.25 |

Nota: Resultado del análisis realizado en el laboratorio de suelos INIA – Pichanaqui

3.4.3 Repique

A los 63 días de haber realizado el germinador, las plántulas de café se encontraban en estado “mariposa”, siendo el tiempo propicio para realizar el repique en las bolsas 1 kg de capacidad, contenidas con el sustrato elaborado a base de pulpa de café descompuesta y tierra de chacra.

Además, con la finalidad de regular y potenciar el crecimiento de nuevas raíces y evitar la mortandad de las plántulas de café, se remojaron las raíces previo al repique en una solución de ROOT HOR (Ácido Alfa Naftalenacético + Ácido 3 Indol Butírico) a una dosis de 2.5 ml/ L de agua.



Figura 4. Uso de Root Hor para las raíces de las plántulas de café.

3.4.4 Riego

Esta actividad se llevó a cabo con la finalidad de mantener el sustrato en capacidad de campo, la frecuencia de riego era una a dos veces por semana debido a las altas temperaturas del distrito de Pichanaqui. El agua utilizada para esta actividad es la que se consume en el INIA - Pichanaqui y sus características se determinaron en el Laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Pichanaqui y se presentan detalladamente en la Tabla 4 (Anexo 20).

Tabla 4. Características del agua utilizada en el riego del café en vivero.

| Parámetro | Valor |
|--------------------------------|--------------|
| pH | 7.55 |
| Conductividad Eléctrica (dS/m) | 354.00 |
| Calcio (meq/L) | 0.16 |
| Magnesio (meq/L) | 0.05 |
| Carbonatos (meq/L) | 0.00 |
| Bicarbonatos (meq/L) | 0.12 |
| Cobre (meq/100g) | 0.157 |

Nota: Resultado del análisis realizado en el laboratorio del INIA - Pichanaqui

3.4.5 Control de malezas

Esta actividad fue realizada de forma manual y semanalmente, por lo que no se presentaron problemas significativos por abundante maleza.

3.4.6 Control de plagas y enfermedades

Durante el desarrollo del ensayo no se observaron plagas y enfermedades de gran importancia.

3.5 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES

Las evaluaciones se dieron inicio el uno de noviembre del 2022 y terminaron el quince de enero del 2023, haciendo un total de 3 meses, tiempo propicio para que las plántulas de café sean trasladadas a campo definitivo. Los datos fueron recolectados de cada una de las 200 plantas, realizando evaluaciones quincenales, siendo un total de 6 evaluaciones durante el transcurso de la investigación (Anexo 11). Se evaluaron los siguientes parámetros:

- *Altura de planta.* - Se utilizó una regla de 30 cm, midiendo desde la base del tallo de la planta, hasta el ápice de la yema terminal.
- *Diámetro de tallo.* - Medido aproximadamente a 2 cm de la base de tallo de la planta, utilizando un vernier electrónico.
- *Número de hojas.* - Se contabilizó la cantidad de hojas verdaderas y desarrolladas.
- *Peso fresco.* - Esta evaluación se realizó al final de la parte experimental, en el cual se incluyó la totalidad de la planta (aérea y radicular). Se utilizó una balanza electrónica para pesar todas las partes.
- *Peso seco.* - En esta evaluación se incluyó la parte aérea y radicular. Las muestras se secaron en una estufa a 75° C durante 48 horas, tiempo tras el cual fueron pesadas en una balanza electrónica. Se utilizaron 10 plantas por cada tratamiento, los cuales fueron retirados de la bolsa de vivero y cortados para poder separar la parte aérea de la radicular, posteriormente se colocaron las partes separadas en bolsas de papel los cuales fueron pesados antes y después de ingresar a estufa para finalmente determinar su materia seca (MS), (Anexo 13 y 14).

- *Longitud de raíces.* - Con una regla de 30 cm se midió desde la base del cuello de la planta hasta la parte apical de la raíz principal.
- *Análisis de nutrientes.* - En esta evaluación se incluyó sólo la parte aérea de la planta, a excepción del tallo. Se utilizaron 40 plantas para cada tratamiento. En primera instancia, las muestras se lavaron con agua, luego se secaron en una estufa a 75 °C durante 24 horas, para finalmente moler una parte de la muestra y utilizar 0.2 gramos. Mediante el método de Micro-Kjeldahl se analizó el contenido de Nitrógeno. Posteriormente, se continuó el secado de las muestras sobrantes en la estufa a 75 °C durante 24 horas más, después de ello se molieron las muestras y se utilizó 0.5 gramos para cada nutriente a analizar (Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Zinc, Cobre, Hierro, Manganeso y Sodio); siendo utilizado la digestión vía seca y lectura por el método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico para analizar el contenido de Fósforo, y la digestión vía seca y lectura por el método EAAF (espectrofotometría de absorción atómica de alimentos) para analizar el contenido de Potasio y elementos restantes.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se trabajó con un diseño completamente al azar con 4 tratamientos y 50 repeticiones por tratamiento, cada repetición corresponde a una planta. Con los datos obtenidos se hará un Diseño Completamente Aleatorio (DCA) y una comparación de medias con la prueba Tukey (95%).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los datos hidrometeorológicos registrados durante el tiempo de duración de la presente investigación (agosto del 2022 a enero del 2023) fueron tomados de la Estación Meteorológica Convencional Pichanaqui ubicada en el departamento de Junín, provincia de Chanchamayo, Distrito de Pichanaqui.

La temperatura máxima registrada fue de 37.80 °C en el mes de diciembre y la temperatura mínima fue de 14.5 °C para el mes de agosto. Respecto a la humedad relativa promedio registrada por cada mes, se obtuvo un valor de 79.43% en el mes de enero. De la misma manera, la máxima precipitación se registró en el mes de septiembre con un valor de 8.72 mm.

Tabla 5. Datos hidrometeorológicos

| Meses (2022 - 2023) | Temperatura máxima (°C) | Temperatura mínima (°C) | Humedad relativa promedio (%) | Precipitación (mm/día) |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Agosto | 35.20 | 14.50 | 71.65 | 3.19 |
| Septiembre | 35.60 | 17.50 | 71.40 | 8.72 |
| Octubre | 37.00 | 19.00 | 62.21 | 1.59 |
| Noviembre | 37.60 | 17.00 | 68.11 | 1.44 |
| Diciembre | 37.80 | 18.50 | 76.52 | 6.65 |
| Enero | 35.00 | 18.00 | 79.43 | 6.53 |

Nota: Adaptado de Senamhi (2023).

4.1 EFECTO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PLANTA DE CAFÉ

De forma general podemos observar que a medida que pasa el tiempo la planta aumenta de tamaño (Figura 5) en términos de altura, diámetro de tallo y número de hojas. De forma particular, a partir de la tercera evaluación, el tratamiento control (T0) fue más alto, tuvo mayor diámetro de tallo y mayor cantidad de hojas que los otros tratamientos ($p \leq 0.05$). En la evaluación final el tratamiento control tuvo una altura promedio de 14.8 cm, mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron 11.01, 11.27 y 11.00 cm respectivamente. En el caso del diámetro de tallo el T0 tuvo un valor promedio de 2,20 mm que fue significativamente mayor a los T1 (1.93 mm), T2 (1.92 mm) y T3 (1.93 mm). La aplicación de los tratamientos redujo estadísticamente el promedio de número de hojas, en efecto, el T0 tuvo 10.32, el T1 tuvo 7.84, el T2 tuvo 7.46 y el T3 tuvo 7.84 hojas. En cuanto a la longitud de la raíz no hubo diferencia estadística.

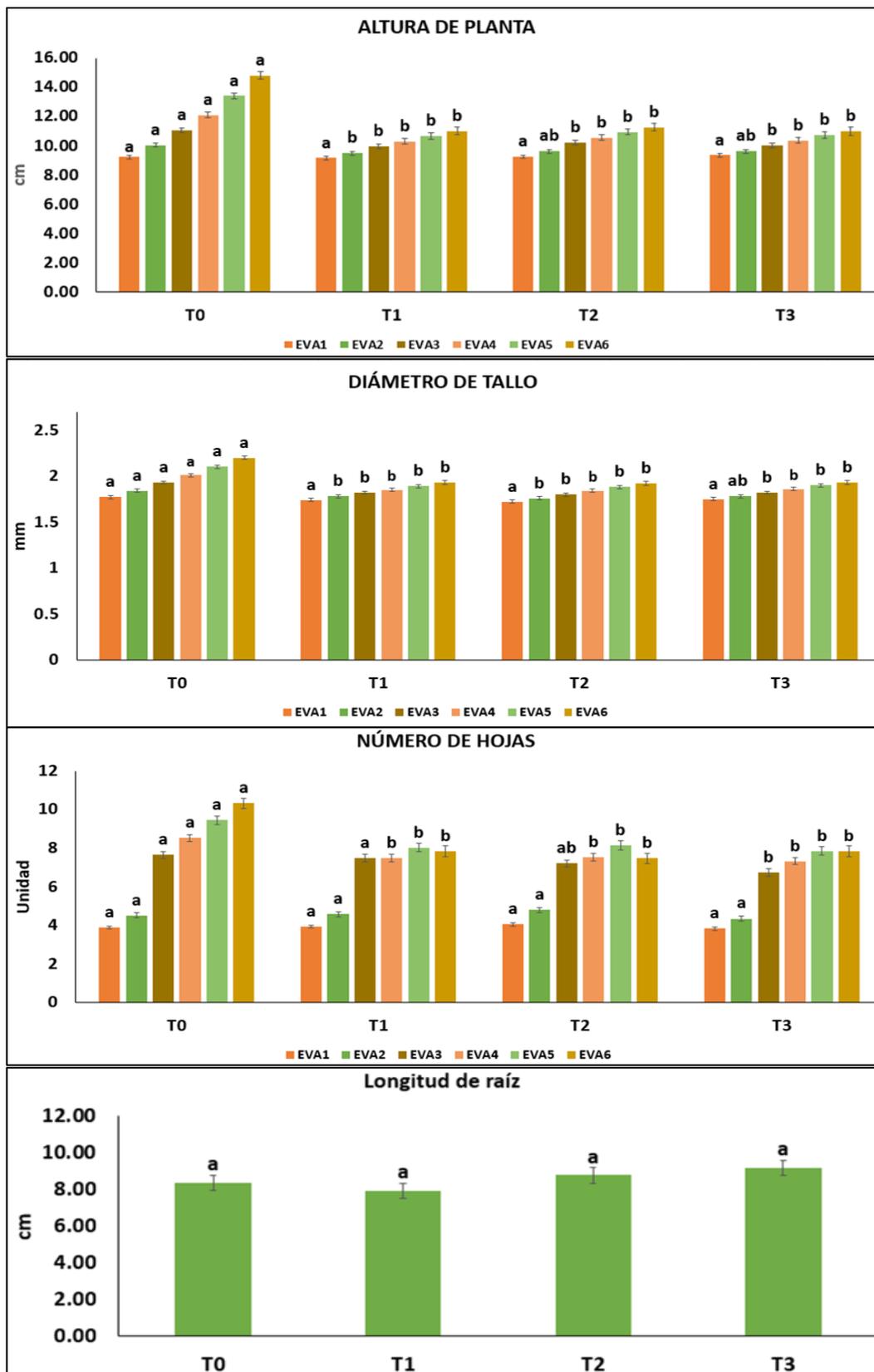


Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento del café.

Los resultados muestran efecto negativo del biol de guano de isla sobre la robustez y sobre la resistencia de daños mecánicos provocados por el viento (Morales, 2018). Otros investigadores han reportado que esta variable puede ser afectada por las condiciones externas (Julca et al., 2015; Borjas-Ventura et al., 2022). Al reducir el número de hojas, los bioles aplicados están reduciendo el área fotosintética de la planta. De forma interesante, la longitud de la raíz no se modificó lo cual hipotéticamente podría mostrar algún tipo de adaptación de la planta a la presencia de bioles de guano de isla, de hecho, bajo ciertas condiciones de estrés salino la planta es capaz de estimular su crecimiento al aumentar la síntesis de auxinas con la finalidad de alejarse de este estrés, este fenómeno se conoce como halotropismo (Zou et al., 2021).

4.2 EFECTO EN LA BIOMASA FRESCA Y SECA DE LA PLANTA DE CAFÉ

En el caso de la biomasa fresca y seca, se notó que los bioles de guano de isla de 15, 30 y 45 días disminuyeron estas variables, en efecto, el tratamiento control tuvo más de dos veces biomasa fresca y seca (Figura 6 y 7). Lo cual sugiere una interrupción en la absorción de agua, y por lo tanto en la fotosíntesis. Este mismo fenómeno ha sido reportado en especies como el tomate (Altaf et al., 2022), palma datilera (Anli et al., 2020) y trigo (Khalvandi et al., 2021).

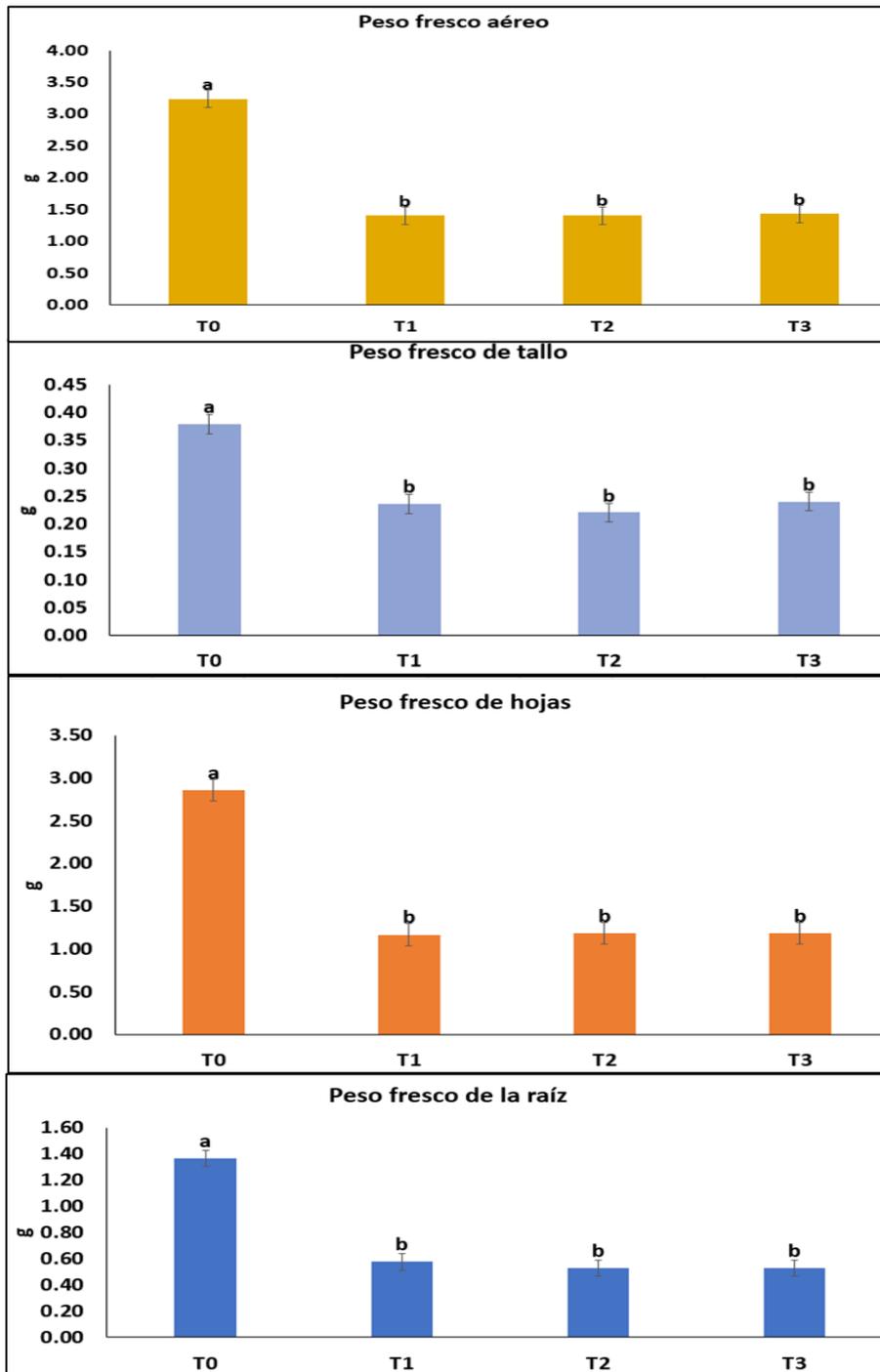


Figura 6. Efecto del fermento de guano de isla sobre el peso fresco del café.

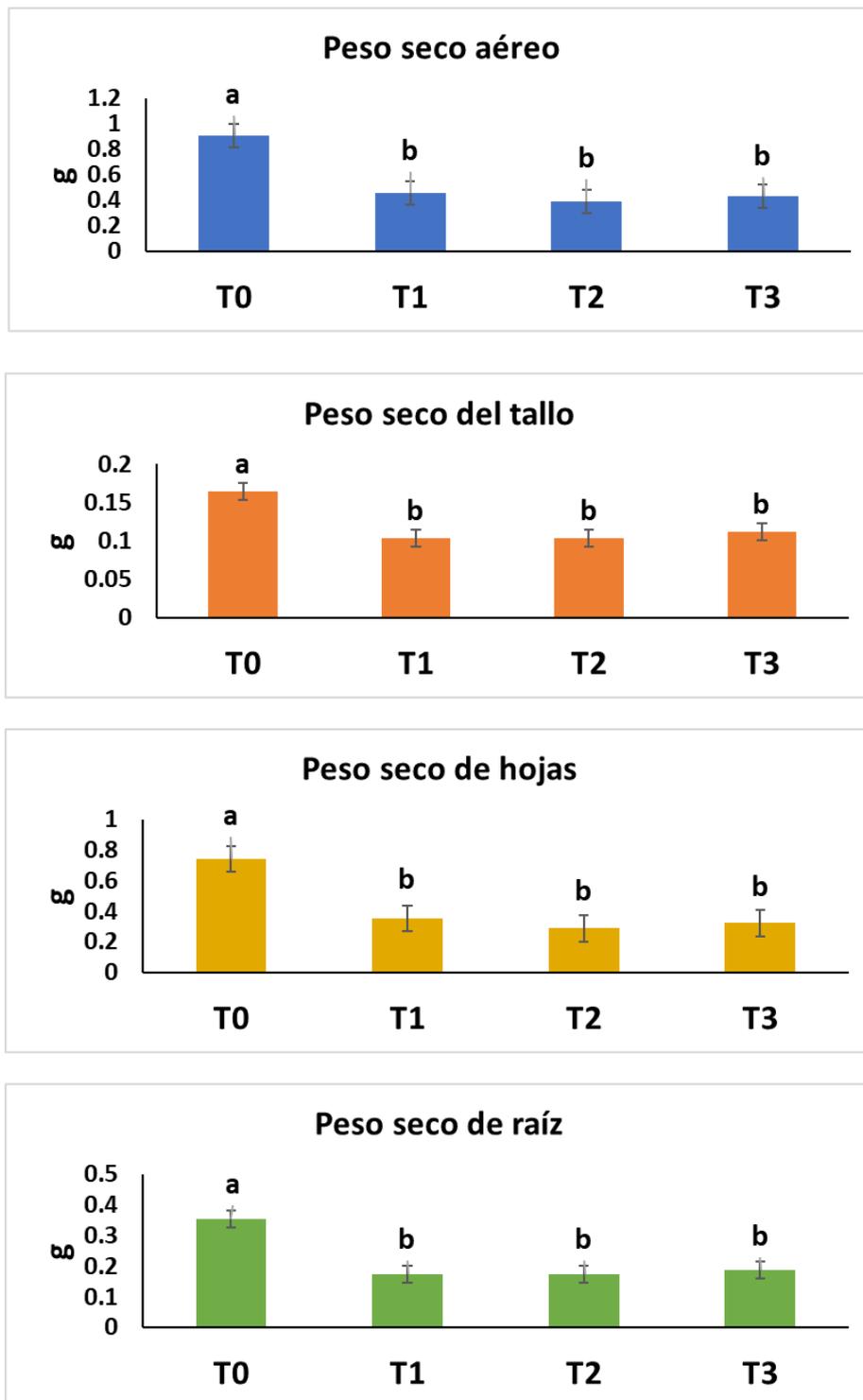


Figura 7. Efecto del fermento de guano de isla sobre el peso seco del café.

4.3 EFECTO EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LA PLANTA DE CAFÉ

Nuestros resultados muestran que hubo una interrupción en la absorción de nutrientes como potasio, calcio, magnesio y eventualmente fósforo (con excepción del T1) (Figura 8). Todos ellos considerados como macronutrientes esenciales cuya ausencia no dejaría a la planta

desarrollarse ni vivir (Jhonson y Mirza, 2020). En nuestro caso la baja cantidad de estos elementos explica el poco crecimiento alcanzado por los tratamientos en estudio. Otros autores como Cunha et al. (2012) reportan valores de 26 g/kg en K, 12 g/kg en Ca, 3,5 g/kg en Mg y 2 g/kg de P los cuales fueron superiores a los valores obtenidos con la aplicación de los bioles.

Interesantemente, el uso de los bioles aumentó el contenido de nitrógeno (Figura 8). Esto probablemente se debe a que estos bioles de guano de isla tuvieron en su composición química una gran cantidad de este elemento. Sin embargo, esto no fue suficiente para promover el crecimiento de las plantas. Esto sugiere que una ruptura en el equilibrio de los nutrientes modificó negativamente el crecimiento y desarrollo de la plántula de café.

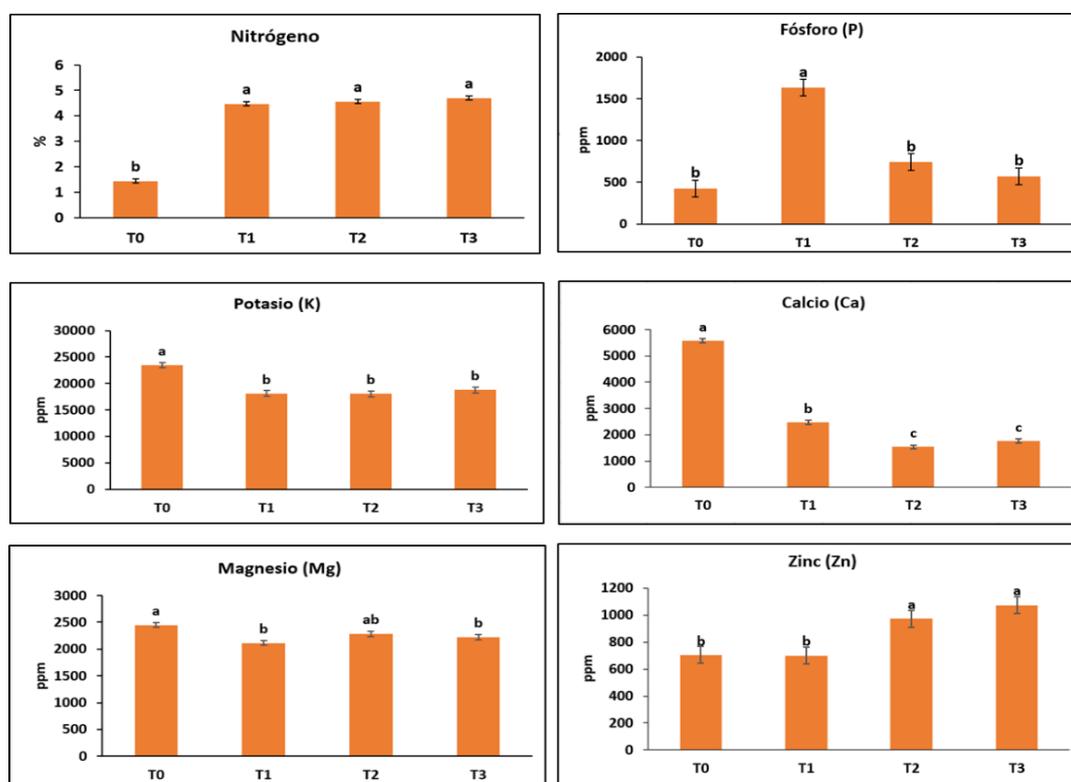


Figura 8. Contenido de macronutrientes del café *Coffea arabica* Var. Catuaí amarillo determinados en este ensayo.

Para el caso de los micronutrientes como Zn, Mn, Fe y Cu estos se mostraron en mayor cantidad a medida que se incrementaba el tiempo de fermentación de los bioles. Esto debido, a que el guano usado en este ensayo también tuvo un alto tenor de esos elementos (Tabla 6). Es importante señalar que no se observó algún síntoma de fitotoxicidad.

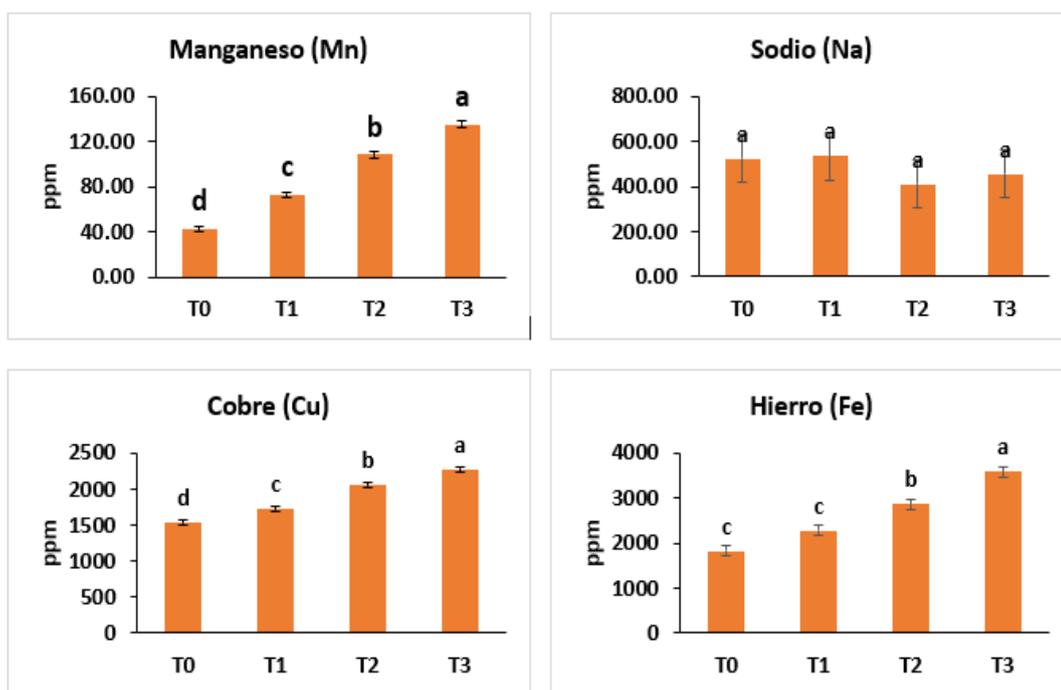


Figura 9. Contenido de micronutrientes del café *Coffea arabica* Var. Catuaí amarillo determinados en este ensayo.

4.4 EFECTO DEL GUANO DE ISLA EN LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS BIOLES

Los efectos sobre la absorción de nutrientes pueden ser explicado por el uso de guano de isla, que a pesar de presentar cierta cantidad de macronutrientes como N (10.85%), P (3.89%), K (2.55%), Mg (0.5%), Ca (4.70%) y micronutrientes como Zn (281.75 mg/kg), Mn (1000 mg/kg), Cu (5.0 mg/kg) y Fe (1375 mg/kg) también mostró alta conductividad eléctrica (114.10 dS/m) y alto contenido de sodio (5150 mg/kg) (Tabla 6). Los rangos de macronutrientes coinciden con los reportados por el MIDAGRI (2023).

El 35% del N (33% amoniacal y 2% nitrato) en el guano se encuentra disponible para la planta y el 65% restante se encuentra en forma orgánica; además, posee forma disponible de fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O). Asimismo, es capaz de mejorar la vida del suelo (MIDAGRI, 2023). En el caso de micronutrientes se puede observar un exceso en Zinc, Hierro y Manganeso comparados con las características químicas del guano presentado por el MIDAGRI (2023). El pH del biol fue ligeramente alcalino, lo que coincide con lo reportado por Anggita et al. (2018) y Mukhtamar et al. (2015) (Tabla 6).

Respecto a la conductividad eléctrica (CE), el guano usado presentó el valor de 114.10 dS/m lo cual muestra una alta salinidad. Otros investigadores reportan una CE de 12 dS/m para el guano de isla (Salinas et al., 2012), lo cual sugiere un exceso de sales en el guano usado. Respecto a su uso directo, habría que tener cuidado ya que el uso excesivo puede salinizar los suelos (AGRARIA, 2011). La salinidad es uno de los principales problemas que enfrenta la agricultura, de hecho, el 10% de toda la capa arable se encuentra salinizada o es sódica, mientras que de 23% de las tierras para agricultura tiene este problema (Jhariya y Raj, 2013).

Tabla 6. Características químicas del guano de isla

| Parámetro | Unidad | Valor |
|--|---------------|--------------|
| Cenizas en base seca | % | 41.46 |
| Materia Orgánica en base seca | % | 58.54 |
| Materia Orgánica en base húmeda | % | 44.24 |
| Nitrógeno | % | 10.85 |
| Humedad | % | 24.42 |
| Fósforo (P) | % | 3.89 |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | % | 8.91 |
| Conductividad Eléctrica | dS/m | 114.10 |
| pH | Unid. Ph | 7.77 |
| Potasio (K) | % | 2.55 |
| Potasio (K ₂ O) | % | 3.09 |
| Calcio (Ca) | % | 4.70 |
| Magnesio (Mg) | % | 0.50 |
| Zinc (Zn) | mg/kg | 281.75 |
| Cobre (Cu) | mg/kg | 5.00 |
| Hierro (Fe) | mg/kg | 1375.00 |
| Manganeso (Mn) | mg/kg | 1000.00 |
| Sodio (Na) | mg/kg | 5150.00 |

Nota: Resultado del análisis realizado en el laboratorio de suelos INIA - Pichanaqui

Ahora bien, las características químicas del guano de isla se trasladaron hacia los bioles usados. Antes que todo, comenzaremos describiendo las características químicas de los bioles obtenidos luego de 15, 30 y 45 días de estar en contacto con el guano de isla. De manera general, observamos que a medida que aumentaban los tiempos de fermentación el contenido de N y P en los bioles también aumentaba, de hecho, el contenido de estos nutrientes fue significativamente mayor en bioles de 30 y 45 días comparado con aquel de 15 días. En el caso del Cd y Ca las tendencias fueron similares a los anteriores nutrientes, aunque para el último no hubo diferencias significativas. Por el contrario, los tenores de K y Na fueron decayendo con el transcurrir del tiempo. Para el caso de CE, no hubo diferencias estadísticas, sin embargo, los valores para todos los bioles estuvieron alrededor de 80 dS/m, mientras que el pH fue alcalino. Otros autores informan que los bioles pueden tener entre 8 y 13.4 dS/m (Acosta, 2019). Los datos confirman que, al usar un guano con alta salinidad, los bioles o fermentos que de ellos se produzcan también tendrán esta característica química.

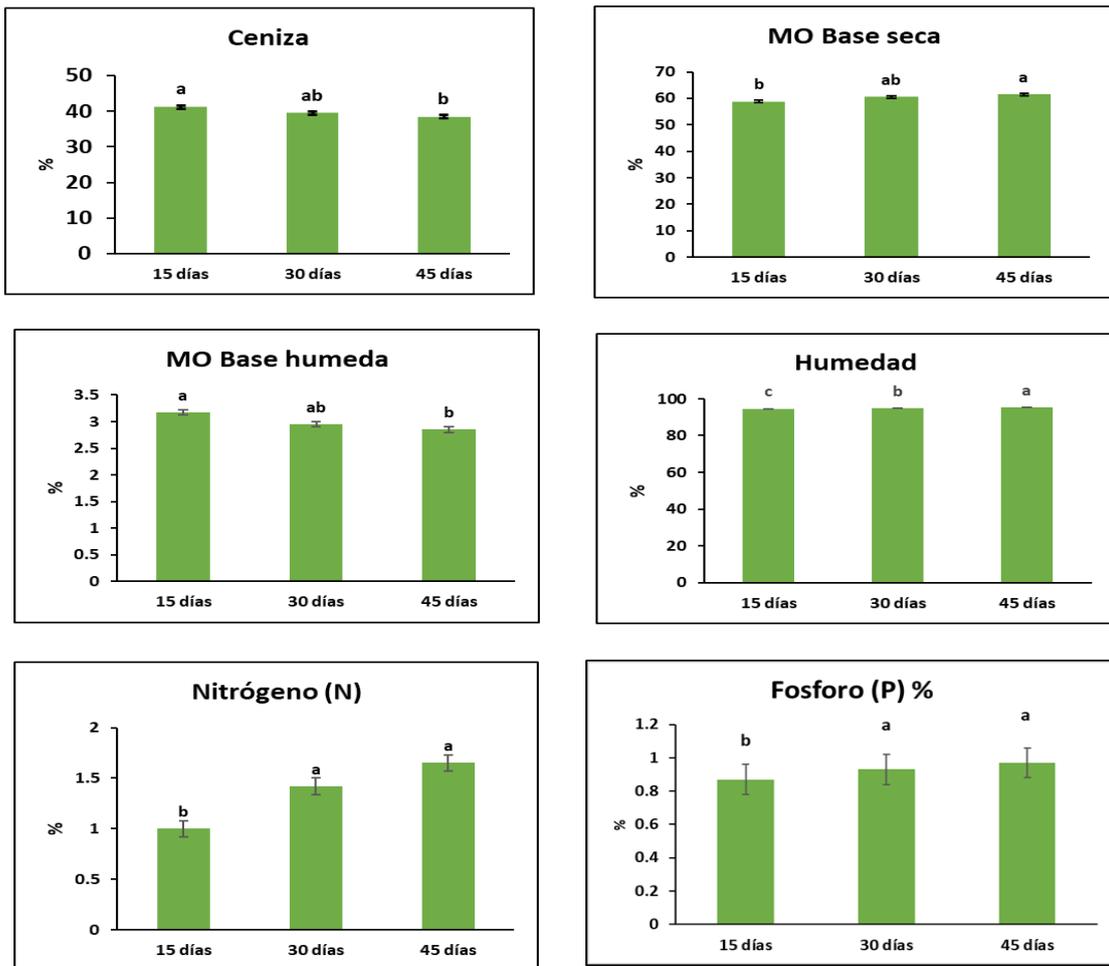


Figura 10. Características químicas de los bioles utilizados en este ensayo.

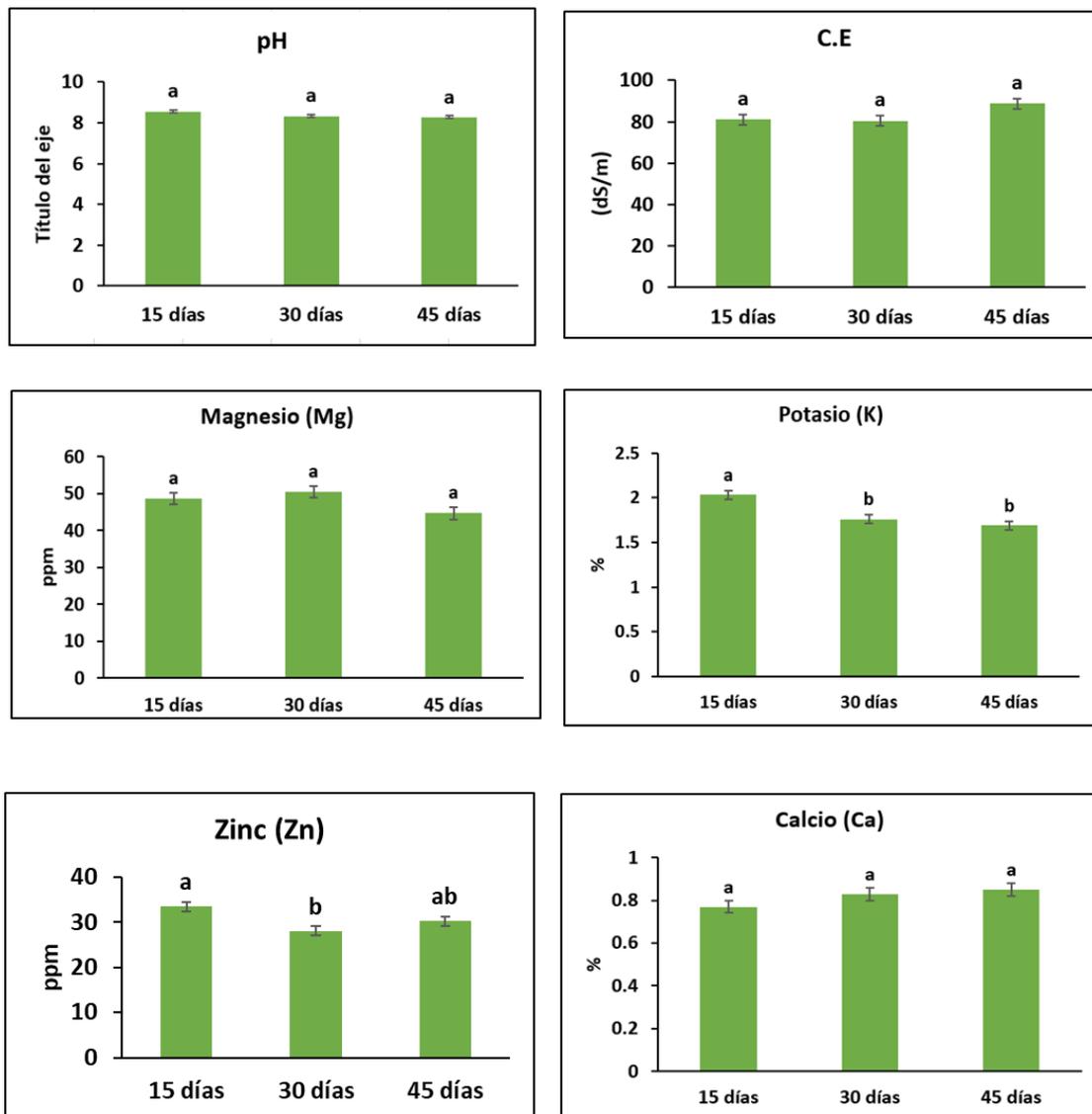


Figura 11. Características químicas de los bioles utilizados en este ensayo.

La salinidad es causada por la presencia en exceso de Na, K, Ca, Mg y Cl. Si dentro de ese conjunto de iones sobresale el exceso de Na entonces nos estamos refiriendo a la sodicidad del suelo. Siendo ambos un problema puesto que, por un lado, la salinidad causa un desbalance osmótico y deficiencia nutricionales, y por otro lado, la sodicidad del suelo causa una pérdida de la estructura de éste llevando a encharcamientos por un mal drenaje e infiltración (Singh, 2015). Con todo, la aplicación de enmiendas del suelo cuando éstas no poseen una buena característica química puede llegar a dañarlo, inclusive contaminarlo con metales pesados como el Cd.

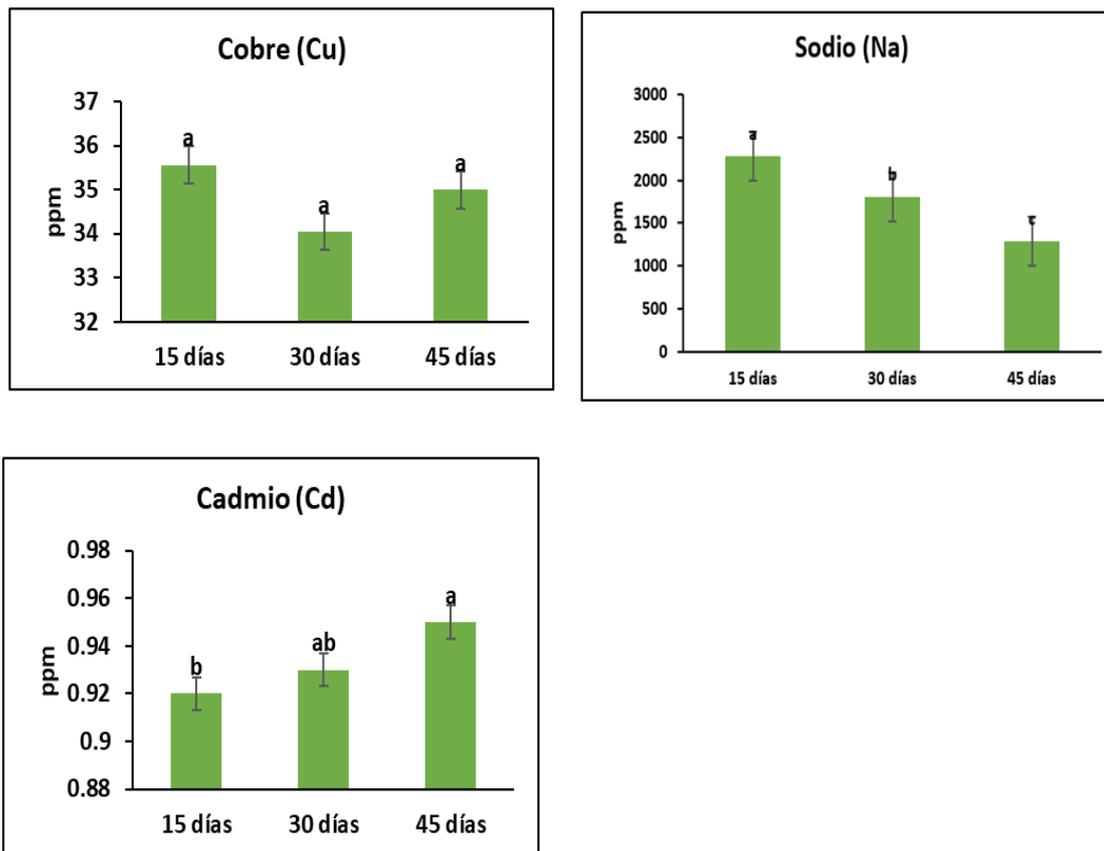


Figura 12. Características químicas de los bioles utilizados en este ensayo.

4.5 EFECTO EN LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUSTRATO

Como fue mencionado anteriormente los bioles de guano de isla mostraron alta salinidad (alrededor de 80 dS/m) que al ser aplicados al suelo también aumentaron la salinidad del sustrato usado, en efecto, el sustrato del tratamiento control mostró 0.68 dS/m, mientras que la CE de los tratamientos con 15, 30 y 45 días de fermento tuvieron 0.98, 2.51 y 3.25 dS/m lo cual significó un incremento de casi el 500% (Tabla 7). En general las zonas donde suele ser sembrado el café tiene una CE que varía entre 0.17 y 0.3 dS/m (Alvarado et al., 2022), por lo tanto, hubo un excesivo incremento de la salinidad provocado por el uso de bioles procedentes del guano de isla estudiado ocasionando una caída en el contenido de nutrientes y una disminución en el crecimiento de las plántulas de café. Es importante mencionar que existió una tendencia a aumentar el tenor de K, Ca y Mg en el sustrato a medida que aumentaba el tiempo de fermentación lo que provocó un aumento en la CIC.

Tabla 7. Características físico químicas del sustrato durante el experimento

| Código | | Análisis Mecánico | | | Clase textural | C.E. | | pH (1:1) |
|------------|---------------|-------------------|----------|---------|----------------|------|-------|----------|
| Lab. | Campo | Arena | Limo (%) | Arcilla | | dS/m | mS/m | |
| SU17-PI-23 | Control | 74.10 | 12.22 | 13.69 | Arena Franca | 0.68 | 68.4 | 4.78 |
| SU18-PI-23 | Tratamiento 1 | 74.24 | 14.00 | 11.76 | Arena Franca | 0.98 | 97.7 | 3.86 |
| SU19-PI-23 | Tratamiento 2 | 72.17 | 16.14 | 11.69 | Arena Franca | 2.51 | 251.0 | 3.83 |
| SU20-PI-23 | Tratamiento 3 | 70.10 | 16.14 | 13.76 | Arena Franca | 3.25 | 325.0 | 3.82 |

| Código | | MO | N | P | K |
|------------|---------------|------|------|-------|--------|
| Lab. | Campo | % | % | ppm | Ppm |
| SU17-PI-23 | Control | 6.55 | 0.42 | 20.89 | 59.97 |
| SU18-PI-23 | Tratamiento 1 | 6.33 | 0.49 | 82.68 | 208.66 |
| SU19-PI-23 | Tratamiento 2 | 6.07 | 0.49 | 78.25 | 264.63 |
| SU20-PI-23 | Tratamiento 3 | 7.06 | 0.48 | 78.62 | 446.05 |

| Código | | Cationes Cambiables (meq/100 g) | | | | | CICe | % Base Cambiable | % Acidez Cambiable |
|------------|---------------|---------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------|-------|------------------|--------------------|
| Lab. | Campo | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ + H | | | |
| SU17-PI-23 | Control | 2.00 | 0.96 | 0.15 | 0.00 | 0.69 | 3.80 | 81.83 | 18.17 |
| SU18-PI-23 | Tratamiento 1 | 2.14 | 1.14 | 0.52 | 0.00 | 0.70 | 4.50 | 84.43 | 15.57 |
| SU19-PI-23 | Tratamiento 2 | 5.96 | 1.26 | 0.66 | 0.00 | 0.70 | 8.58 | 91.84 | 8.16 |
| SU20-PI-23 | Tratamiento 3 | 10.59 | 4.25 | 1.12 | 0.00 | 0.71 | 16.67 | 95.74 | 4.26 |

| Lab. | Campo | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
|------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| SU17-PI-23 | Control | 9.95 | 2.84 | 40.00 | 5.06 |
| SU18-PI-23 | Tratamiento 1 | 3.61 | 2.82 | 45.00 | 5.71 |
| SU19-PI-23 | Tratamiento 2 | 3.18 | 2.89 | 47.04 | 5.41 |
| SU20-PI-23 | Tratamiento 3 | 3.50 | 2.62 | 52.50 | 5.43 |

V. CONCLUSIONES

- En cuanto al efecto del tiempo de fermentación del biol de guano de isla sobre las características morfológicas de las plántulas de café al final de las evaluaciones, se observó que el tratamiento control obtuvo una altura promedio de 14.8 cm, mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron 11.01, 11.27 y 11.00 cm, respectivamente. Asimismo, el diámetro de tallo del tratamiento control tuvo un valor promedio de 2.20 mm que fue significativamente mayor al de T1 (1.93 mm), T2 (1.92 mm) y T3 (1.93 mm). Además, se notó que la aplicación de biol redujo estadísticamente el promedio de número de hojas, ya que el tratamiento control mostró 10.32 hojas por planta, mientras que T1, T2 y T3 obtuvieron 7.84, 7.46 y 7.84 hojas por planta en promedio. En cuanto a la longitud de la raíz, no hubo diferencia estadística.
- En cuanto al efecto del tiempo de fermentación del biol de guano de isla sobre la biomasa fresca y seca, se hizo notorio que los bioles de guano de isla de 15, 30 y 45 días disminuyeron estas variables significativamente, hasta la mitad de la biomasa obtenida en el tratamiento control.
- En cuanto al efecto del tiempo de fermentación del biol de guano de isla sobre el contenido de nutrientes de las plántulas de café, se observó un incremento significativo en el contenido de N en los tratamiento aplicado con biol, la interrupción en la absorción de P después de los 15 días de fermento, la interrupción en la absorción de K, Ca y Mg en los tratamientos aplicados con biol, y para el caso de los micronutrientes como Zn, Mn, Fe y Cu, se mostraron en mayor concentración a medida que se incrementaba el tiempo de fermentación de los bioles.
- En cuanto al efecto del tiempo de fermentación sobre las características químicas del biol de guano de isla, se observó que a medida que aumentó el tiempo de fermentación, aumentó el contenido de N y P, lo que se evidenció con un contenido de estos nutrientes significativamente mayor en bioles de 30 y 45 días comparado con el de 15 días. Por otro lado, el biol de 45 días también mostró un aumento significativo en el contenido de

Cd comparado con el de 15 días. Por el contrario, el contenido de Na y K decayó significativamente con el paso del tiempo. Finalmente, no se encontró diferencias estadísticas para las variables pH y CE entre los diferentes bioles, cuyos valores estuvieron alrededor de 8.2 y 80 dS/m respectivamente, lo que indica que el guano de isla utilizado presenta un exceso de sales, factor que pudo influir en la inhibición del crecimiento de las plántulas tratadas.

- En cuanto al efecto del tiempo de fermentación del biol de guano de isla sobre las características químicas del sustrato aplicado, se observó que a medida que aumentó el tiempo de fermentación, hubo un incremento el contenido K, Ca y Mg en el sustrato, lo que provocó un aumento en la CIC. Asimismo, la alta salinidad de los bioles (alrededor de 80 dS/m) logró aumentar la salinidad del sustrato usado, lo que se evidenció en los valores de CE de los tratamientos con 15, 30 y 45 días de fermento, en los que se obtuvo 0.98, 2.51 y 3.25 dS/m, respectivamente, en comparación al tratamiento control con 0.68 dS/m.

VI. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones, en la etapa de vivero, considerar al momento del repique, realizar las perforaciones en el sustrato a la misma profundidad de acuerdo a la longitud de la raíz de la plántula del cafeto, evitando que éstas se doblen en la profundidad.
- Repetir el ensayo aplicando una dosis de 0.4 L biol/20 L en etapa de vivero, de la misma manera hacer uso de diferentes variedades a fin de evaluar los efectos sobre el crecimiento y desarrollo de la plántula del cafeto.
- Evaluar el efecto de los bioles a base de guano de isla en fase de campo hasta la producción, para determinar el rendimiento y calidad de los granos del cafeto.
- Debido a la importancia económica y social del café en el Perú, se deben seguir con las investigaciones en el cultivo de café.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. (2019). Características físicas, químicas, microbiológicas y efectividad agronómica del abono líquido Biol obtenido por digestión anaerobia de estiércol de animales con rastrojo. (Tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/6031>
- Ali, A.; Zahid, H.; Cottrell, J. & Dunshea, F. (2022). A Comparative Study for Nutritional and Phytochemical Profiling of Coffea arabica (C. arabica) from Different Origins and Their Antioxidant Potential and Molecular Docking. *Molecules*, 27, 5126. <https://doi.org/10.3390/molecules27165126>
- Alvarado, M. & Rojas, G. (2007). Características Botánicas del cultivo. *El cultivo del café y beneficiado del café*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica. Pág. 228.
- Alvarado, C. W., Bobadilla, L. G., Valqui, L., Valqui, G. S., Valqui-Valqui, L., Vigo, C. N., & Vásquez, H. V. (2022). Characterization of Coffea arabica L. parent plants and physicochemical properties of associated soils, Peru. *Heliyon*, 8(10), e10895. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10895>
- Altaf, M. A., Shahid, R., Ren, M. X., Naz, S., Altaf, M. M., Khan, L. U., ... & Ahmad, P. (2022). Melatonin improves drought stress tolerance of tomato by modulating plant growth, root architecture, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Antioxidants*, 11(2), 309. <https://doi.org/10.3390/antiox11020309>
- AGRARIA. (25 de noviembre de 2011). *USO Y CONSECUENCIAS DE LA UTILIZACIÓN DE GUANO DE LA ISLA COMO FERTILIZANTE*. Recuperado de <https://agraria.pe/noticias/uso-y-consecuencias-de-la-utilizacion-de-guano-de-la-isla-co-2304>
- Amaral, E. (1960). Influence of insects on pollination of caturra coffee. *Rev. Agric.* 35, 139-147.

- Anggita, T., Mukhtar, Z., & Fahrurrozi, F. (2018). Improvement of selected Soil chemical properties and potassium uptake by mung beans after application of liquid organic fertilizer in Ultisol. *TERRA: Journal of Land Restoration*, 1(1), 1-7. <https://doi.org/10.31186/terra.1.1.1-7>
- Anli, M., Baslam, M., Tahiri, A., Raklami, A., Symanczik, S., Boutasknit, A., ... & Meddich, A. (2020). Biofertilizers as strategies to improve photosynthetic apparatus, growth, and drought stress tolerance in the date palm. *Frontiers in plant science*, 11, 516818. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.516818>
- Aparcana, S. & Jansen, A. (2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "Fermentación anaeróbica" para producción de biogás. *German Prof EC GmbH. Reporte BM-4-00-1108-1239*.
- Arcila, J., Farfán, F. F., Moreno, A. M., Salazar, L. F., & Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*.
- Aulla, F.. (2020). *Elaboración de biol a partir de frutas de descarte con la utilización de un biodigestor*. (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Ballester, J. (1992). Substratos para el cultivo de plantas ornamentales. *Divulgadoras*, 11(92), 44. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Bawin, Y., Ruttink, T., Staelens, A., Haegeman, A., Stoffelen, P., Mwangi, J. I., ... Janssens, S. B. (2020). Phylogenomic analysis clarifies the evolutionary origin of *Coffea arabica*. *Journal of Systematics and Evolution*, 59(5). doi:10.1111/jse.12694
- Bergstrand, K. J. (2022). Organic fertilizers in greenhouse production systems—a review. *Scientia Horticulturae*, 295, 1108. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110855>
- Bernal, M. P., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., & Michel, F. C. (2017). Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits. *Advances in Agronomy*, 143–233. doi:10.1016/bs.agron.2017.03.002.
- Borjas, R. (2008). *Uso de fuentes naturales en la fertilización del café (Coffea arabica) var. Caturra en vivero como base para la producción orgánica en la selva central del*

Perú. (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1820/F04-B64-T.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

- Borjas-Ventura, R., Bello-Medina, N., Bello-Amez, S., Alvarado-Huamán, L., Rabaza-Fernandez, D., Figueroa, L. T. Y., ... & Julca-Otiniano, A. (2022). DIFFERENTIATED CADMIUM UPTAKE AND ITS EFFECT ON THE PHYSIOLOGY OF SIX CACAO GENOTYPES (*Theobroma cacao* L.) IN SAN RAMÓN, CENTRAL PERUVIAN JUNGLE. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4000>
- Brow, P., Welch, R., Cary, E. (1987). Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, 803.
- Cahuapaza, J. (2016). *Café orgánico, historia, contexto y perspectivas*. Lima: Junta Nacional del Café.
- Carvalho, C. (2010). Cultivares de café arábica de porte baixo. En Carvalho, C. (Ed), *Cultivares de café. Origem, Características e recomendações* (pp. 157-226). Brasilia: Embrapa Café.
- Caviedes, D., y Olaya, A. (2020). Impacto ecológico, social y económico de fincas certificadas en buenas prácticas agrícolas y comercio justo. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 17. Recuperado de: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr17.iese>
- Centre for the Promotion of Imports from developing countries (CBI). (16 de septiembre, 2020). *Entering the European market for organic coffee*. Recuperado de: <https://www.cbi.eu/sites/default/files/pdf/research/1481.pdf>
- CENICAFE. (2013). *Informe Anual Cenicafé 2013*. Editorial Blanecolor S.A.S. Colombia. Recuperado de: https://www.cenicafe.org/es/publications/InformeAnual_2013.pdf
- Chaves-Ulate, E., & Esquivel-Rodríguez, P. (2019). Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 299-311. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v30n01_299.pdf

- Chew, K. W., Chia, S. R., Yen, H. W., Nomanbhay, S., Ho, Y. C., & Show, P. L. (2019). Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers. *Sustainability*, 11(8), 2266. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/8/2266>
- Christiansen, J. (2004). *Café orgánico diversificado*. Honduras: Editorial Ideas litográficas.
- CICAFAE. (2011). *Guía Técnica para el Cultivo del Café*. Instituto del Café de Costa Rica. Costa Rica. Recuperado de: <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). (2012). *El Sector Cafetalero del Ecuatoriano. Diagnóstico. Portoviejo- Ecuador*. 60 p.
- Columbus, M. & Pulgarín, G. (2002). *Proyecto de producción de café orgánico para exportación como una nueva alternativa comercial para Ecuador*. Guayaquil: Instituto de Ciencias Humanísticas y Economicas. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/3807/6334.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Condori, J. (2018). *Evaluación del desarrollo en vivero de tres variedades de café (coffea arabica) bajo la aplicación de tres bioinsumos y la incidencia de plagas y enfermedades de la comunidad de Cúcuta Esperanza en el municipio de Teoponte* (Tesis de grado: Universidad mayor de San Andrés).
- Cunha, A., Oliveira, M., Caballero, E., Martinez, H., Fontes, P. & Pereira, P. (2012). Growth and nutrient uptake of coffee seedlings cultivated in nutrient solution with and without silicon addition. *Revista Ceres*, 59(3), 392-398. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/rceres/a/d7vf3sMz6b43TRJ5DdTTsLK/?format=pdf&lang=en>
- Díaz, C. y Willems M. (2017). *Línea de base del sector de café en el Perú*. Lima: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- Duicela, L. & Sotomayor, I. (1993). a) Botánica. En INIAP (Ed). *Manual del cultivo del café* (pp. 19-27). Ecuador: GTZ..
- Duicela Guambi, L., Guerrero, H., Amores, F., y Corral, R. (2004). *Crianza de plántulas de café en el vivero (Boletín Divulgativo no. 317)*. Quevedo: INIAP, Estación

- Experimental Pichilingue. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1549>
- Ebel, R. (2020). Efecto de biofertilizantes foliares sobre el rendimiento de un policultivo con maíz. *CIENCIA ergo-sum*, 27(3), 401-415.
- Enríquez, G. (2022). *Manual de buenas prácticas para la elaboración de abonos orgánicos*. Costa Rica: IICA. Recuperado de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2008>
- Estrada Carhuallanqui, H. (2014). *Severidad de Hemileia vastatrix Berk. & Br. en seis variedades de Coffea arábica L. en viveros de la zona de Río Negro–Satipo*. (Tesis de Grado: Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4017/Estrada%20Carhuallanqui%20Hebert.pdf?sequence=1>
- Fahrurrozi, F., Muktamar, Z., Dwatmadji, D., Setyowati, N., Sudj atmiko, S., & Chozin, M. (2017). *Growth and yield responses of three sweet corn (Zea mays L. var. Saccharata) varieties to local-based liquid organic fertilizer*.
- FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación). (2004). *Perspectivas a Plazo Medio de los Productos Básicos Agrícolas. Cultivo de café*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s0v.htm>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). (2014). *Comportamiento de la Industria Cafetera Colombiana*. Colombia: FNC.
- Feicán, C. (2011). *Manual de producción de abonos orgánicos*. Ecuador: INIAP, Estación Experimental Austro.
- Figuerola, R. (1990). *Caficultura en el Perú*. Lima: Editorial Fiessa.
- Fischersworrin B. & Robkamp R. (2001). *Guía para la caficultura ecológica*. Bogotá: Editorial López.
- Gómez, O. (2010). *Guía para la innovación de la caficultura*. El Salvador.
- Gonzales, W., (2011). *Evaluación del efecto de guano de islas en el crecimiento de guaba (Inga edulis C. Martius) y pino chuncho, (Schizolobium parahyba (Velloso) Blake var. Amazonicum (Huber ex Oucke') Barneby) asociados con especies del género*

- heliconia*. (Tesis de Grado: Universidad Nacional Agraria de la Selva). Recuperado de <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/432/T.CSA-49.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gordón, V. (2014). *Utilización de suero de leche para la elaboración de abono orgánico (biol)*. (Tesis de Grado: Universidad Politécnica Estatal del Carchi). Recuperado de <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/14>
- Goss, M. J., Tubeileh, A., & Goorahoo, D. (2013). A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *Advances in agronomy*, 120, 275-379. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407686-0.00005-1>
- Guerrero, A. (1996). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Hartmann, H., & Kester, D. (2007). *Propagación de plantas, principios y prácticas*. México: CECSA.
- Herawati, J., Indarwati, I., & Ernawati, E. (2020). Test formulation of liquid organic fertilizer on growth and result of soybean plants. *Journal of Physics: Conference Series*, 1469(1), 012015. doi: 10.1088/1742-6596/1469/1/012015.
- Honorio, J. (2019). *Efecto del tipo y escarificación de la semilla de café (Coffea canephora Pierre) y su relación con el desarrollo de plántones en vivero en Tingo María*. (Tesis de Grado: Universidad Nacional Agraria de la Selva).
- Ibanez, M., & Blackman, A. (2016). Is eco-certification a win-win for developing country agriculture? Organic coffee certification in Colombia. *World development*, 82, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.01.004>
- Iliquín, R. (2022). *Investigación de mercado para la comercialización de abonos orgánicos de la Asociación Aprocafé en el distrito de Jamalca, región Amazonas 2018*. (Tesis de Maestría: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas).
- International Coffee Organization (ICO). (2021). *Exports of all forms of coffee by exporting countries to all destinations*. Recuperado de https://ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics

- Jamilah, J. & Ernita, M. (2015). The effect of fermented liquid organic fertilizer and potassium for nutrient uptake and yield of rice at tropical upland. *Journal of Environmental Research and Development*, 9(4), 1-6.
- Jarata, E. (2015). *Evaluación de perfiles de taza en tres zonas productoras de café (Coffea arábica) Variedad Catimor en el Valle del Distrito de Ayapata - Carabaya*. (Tesis de Grado: Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2790/Jarata_Quispe_Ermilio.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jaulis, J. y Pacheco, A. (2015). Producción de marigold (*Tagetes patula* cv. Durango orange) en diferentes medios de crecimiento, bajo condiciones de vivero de la Universidad Nacional Agraria La Molina. *Anales científicos*, 76(1), 38-43. Recuperado de <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/762/730>
- Jhariya, M. y Raj, D. (2013). Effect of Salinity on Plant Growth and Their Management. *Terminology of Plant Pathology*, 10(1), 19-21. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/288280738_Effect_of_Salinity_on_Plant_Growth_and_Their_Management
- Jhonson, V. y Mirza, A. (2020). Role of Macro and Micronutrients in the Growth and Development of Plants. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 9(11), 576-587. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.071>
- Joergensen, R., Mäder, P., & Fließbach, A. (2010). Long-term effects of organic farming on fungal and bacterial residues in relation to microbial energy metabolism. *Biology and Fertility of Soils*, 46(3), 303-307. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0433-4>
- Julca Otiniano, A., Borjas Ventura, R., Bello Amez, S., Ladera Manyari, Y., & Rebaza Fernández, D. (2016). El crecimiento del café var. Caturra Roja y su relación con la aplicación de abonos orgánicos. *Saber Y Hacer*, 2(2), 74–89. Recuperado de <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/131>
- Julca, A., Ladera, Y., Alvarado, L., Borjas, R., Vásquez, J., García, C., ... & Castro, V. (2018). *Comportamiento de variedades brasileras en el banco de germoplasma de café en San Ramón-Chanchamayo*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E., & Keramati, S. (2021). Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, 7(1), e05908. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05908>
- Ladera Manyar, Y. (2017). *Comportamiento de variedades brasileñas de café (Coffea arabica) en San Ramón-Chanchamayo*. (Tesis de Grado: Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2979/F01-L33-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lashermes, P., Combes, M.-C., Robert, J., Trouslot, P., D'Hont, A., Anthony, F., & Charrier, A. (1999). Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Molecular and General Genetics MGG*, 261(2), 259–266. doi:10.1007/s004380050965
- Li, H., Luo, N., Ji, C., Li, J., Zhang, L., Xiao, L., ... & Lai, H. (2021). Liquid organic fertilizer amendment alters rhizosphere microbial community structure and co-occurrence patterns and improves sunflower yield under salinity-alkalinity stress. *Microbial ecology*, 1-16.
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 297-304.
- Mamani, J. (2015). Caracterización socioeconómica y ambiental de la producción de café orgánico en el Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17(1), 23-32.
- Ministerio de Desarrollo Agrario (MIDAGRI). (2023). *Características del guano de las Islas*. Recuperado de: <https://www.agrorural.gob.pe/informacion-tecnica/>
- Ministerio de Desarrollo Agrario (MIDAGRI). (2020). *Observatorio de commodities: Café*. Recuperado de https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2020/04/Reporte_Obs_Commodities_Cafe.pdf
- Morales, E. (2018). *Indicadores de calidad de planta en viveros forestales del estado de Tamaulipas*. (Tesis Doctoral: Universidad Autónoma de Nuevo León). Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/15965/>

- Muktamar, Z., Hasibuan, S. Y. K., Suryati, D., & Setyowati, N. (2015). Column study of nitrate downward movement and selected soil chemical properties' changes in mine spoiled soil as influenced by liquid organic fertilizer. *Journal of Agricultural Technology, 11*(8), 2017-2027.
- Muktamar, Z., Sudjatmiko, S., Fahrurrozi, F., Setyowati, N., & Chozin, M. (2017). Soil chemical improvement under application of liquid organic fertilizer in closed agriculture system. *International Journal of Agricultural Technology, 13*(7.2), 1715-1727.
- Nhu, N. T. H., Chuen, N. L., & Riddech, N. (2018). The effects bio-fertilizer and liquid organic fertilizer on the growth of vegetables in the pot experiment. *Chiang Mai Journal of Science, 45*(3), 1257-1273.
- Nookabkaew, S., Rangkadilok, N., Prachoom, N., & Satayavivad, J. (2016). Concentrations of trace elements in organic fertilizers and animal manures and feeds and cadmium contamination in herbal tea (*Gynostemma pentaphyllum* Makino). *Journal of agricultural and food chemistry, 64*(16), 3119-3126. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b06160>
- Pangnakorn, U., Watanasorn, S., Kuntha, C., & Chuenchooklin, S. (2010). Effects wood vinegar and fermented liquid organic fertilizer on soybean (srisamrong 1) cultivated under drought condition. *Journal International Society For Southeast Asian Agricultural Sciences, 16*(2), 67-63.
- Philipps, M. (2017). *Sistema de postcosecha del café (Coffea arabica) en la región San Martín*. (Tesis de Grado: Universidad Nacional de San Martín). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11458/2543>
- Pontón Sigcha, R. D. (2011). *Diseño de un sistema para la obtención de biol mediante los residuos sólidos orgánicos generados en el cantón Joya de los Sachas*, (Tesis de Grado: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/681/1/96T00133.pdf>
- Quintana, V. (2018). *Radiosensibilidad de Café (Coffea arábica L. Var. Typica) aplicado con radiación gamma*. (Tesis de Grado: Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3721>

- Quiñones, J. R. (2016). *Manual diseño y organización de viveros*. República Dominicana.
- Ramírez, V. H., Arcila, J., Jaramillo, A., Rendón, J. R., Cuesta, G., García, J. C., Menza, H. ... & Baute, J. E. (2013). *Variabilidad climática y la floración del café en Colombia*. Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Raven, P., Evert, R., & Eichhorn, S. (1999). *Biology of plants*. Estados Unidos: Worth Publishers.
- Restrepo, J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil*. Costa Rica: IIC.
- Restrepo, J. M., Gómez, J., & Escobar, R. (2014). *Utilización de los residuos orgánicos en la agricultura*. Recuperado de: https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/56825/Residuos_Organicos_Agricultura_FIDAR.pdf?sequence=1
- Rojas, A. (1994). *Cultivo y Beneficio del Café*. Costa Rica.
- Rojas, J. (2014). *Evaluación del crecimiento de café y cacao, tratado con 3 aplicaciones de biol, enriquecido con sustancias orgánicas en la producción de plantones en Lamas*. (Tesis de Grado: Universidad Nacional de San Martín).
- Rojas-González, A., Figueroa-Hernández, C. Y., González-Rios, O., Suárez-Quiroz, M. L., González-Amaro, R. M., Hernández-Estrada, Z. J., & Rayas-Duarte, P. (2022). Coffee chlorogenic acids incorporation for bioactivity enhancement of foods: A review. *Molecules*, 27(11), 3400. Recuperado de <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/11/3400>
- Rojo, E. (2014). *Café I (G. Coffea)*. España: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Biología. Recuperado de: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/27835/1/1757-2066-1-PB.pdf>
- Saeed, M., Naveed, M., BiBi, J., Ali Kamboh, A., Phil, L., & Chao, S. (2019). Potential nutraceutical and food additive properties and risks of coffee: A comprehensive overview. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(20), 3293-3319. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1489368>

- Salazar, M. R., Riaño, N. M., Arcila, J., & Ponce, C. A. (1994). *Estudio morfológico anatómico y ultraestructural del fruto de café Coffea arabica l.*
- Salinas, S. J., Arbiz, W. V., & Ulloa, W. L. (2012). Efecto de los abonos orgánicos en las propiedades físicas y químicas en suelos degradados con maíz amiláceo (*Zea mays L.*). *Investigación Valdizana*, 6(1), 43-50. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586061882010>
- Senamhi. (2023). *Datos Hidrometeorológicos en Junín*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?dp=junin&p=estaciones>
- Sihotang, R.; Zulfita, D. & Surojul, A. (2019). *THE EFFECT OF ORGANIC LIQUID FERTILIZER ON THE GROWTH AND YIELD OF GREEN BEAN IN ALLUVIAL SOIL*.
- Singh, R. (2015). Effect of Salinity on Plant Growth. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, 2(4). Recuperado de <https://www.rsisinternational.org/Issue0/issue13/78-79.pdf>
- Shaji, H., Chandran, V., & Mathew, L. (2021). Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*, 231–245. doi:10.1016/b978-0-12-819555-0.00013-3
- Solidaridad. (2016). *Café 2.0 climáticamente inteligente (en línea)*. Recuperado de: <https://www.solidaridadsouthamerica.org/publications/caf%c3%a9-20-clim%c3%a1ticamente-inteligente-2/>
- Solihin, E., Yuniarti, A., Damayani, M., & Rosniawaty, D. S. (2019). Application of liquid organic fertilizer and N, P, K to the properties of soil chemicals and growth of rice plant. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, 393(1), 012026. doi: 10.1088/1755-1315/393/1/012026
- Sosa, J. (2016). *Proceso de selección de semilla de café*. España: Agencia de Extensión Agraria de Gáldar.
- Suárez de Castro, F. (1953). Distribución de las raíces del coffeea Arabica L en un suelo franco limoso. *Boletín Técnico*, 1(12). Manizales: CENICAFÉ. Recuperado de <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/674>

- Taisa, R., Jumawati, R., & Kartina, R. (2022). Impact of Liquid Organic Fertilizer Application on Growth Three Cauliflower Cultivars. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1012(1), 012052. doi: 10.1088/1755-1315/1012/1/012052
- Tran, H. T., Ramaraj, T., Furtado, A., Lee, L. S., & Henry, R. J. (2018). Use of a draft genome of coffee (*Coffea arabica*) to identify SNPs associated with caffeine content. *Plant biotechnology journal*, 16(10), 1756-1766. doi: 10.1111/pbi.12912
- Tut, M. O. (2014). *Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de palo blanco (Tabebuia donnell-smithii rose)*.
- Urbina Suazo, R. & Tosta Vásquez, D. (2018). *Efecto de dos biofertilizantes y fertilización convencional en el crecimiento de plántulas de café en la etapa de vivero*. (Tesis de Grado: Escuela Agrícola Panamericana).
- Uribe-Henao, A. y Salazar-Arias, N. (1983). Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto. *Cenicafé Col.*, 34(2), 44-58.
- Velásquez, R. (2016). *Guía de variedades de Café*. Guatemala: ANACAFÉ. Recuperado de <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>
- Villacis, P. & Aguilar, T., (2016). *Comportamiento agronómico de cinco variedades de café (Coffea arabica L.), sometido a diferentes aplicaciones foliares de biol*. (Tesis de Grado: Universidad de las fuerzas armadas). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11296/1/T-ESPE-002795.pdf>
- Zou, Y., Zhang, Y., & Testerink, C. (2022). Root dynamic growth strategies in response to salinity. *Plant, Cell & Environment*, 45(3), 695-704. doi: 10.1111/pce.14205

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Elaboración del sustrato para el vivero de café.



Anexo 2. Resultados del análisis completo del sustrato de vivero.

| Código | | Análisis Mecánico | | | Clase textural | C.E. | | pH (1:1) | MO | N | P | K |
|---------------|--------------------|-------------------|-------|---------|----------------|------|------|----------|-----|------|-------|--------|
| Lab. | Campo | Arena | Limo | Arcilla | | dS/m | mS/m | | % | % | ppm | Ppm |
| | | (%) | | | | | | | | | | |
| SU529 - PI-22 | Sustrato de vivero | 65,20 | 19,01 | 15,79 | Franco Arenoso | 0,04 | 4,2 | 5,00 | 6,5 | 0,32 | 23,66 | 110,40 |

| CIC | Cationes Cambiables (meq/100 g) | | | | | | CICe | % Base cambiabile | % Acidez Cambiable | %Sat Al |
|-----|---------------------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|------|-------------------|--------------------|---------|
| | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ | H ⁺ | | | | |
| | (meq/100 g) | | | | | | | | | |
| ... | 3,58 | 0,74 | 0,09 | 0,00 | 0,25 | 0,10 | 4,76 | 92,65 | 7,35 | 5,25 |

| Lab. | Campo | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
|---------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| SU529 - PI-22 | Sustrato de vivero | 1,21 | 70,210 | 0,51 | 3,58 |

Anexo 3. Elaboración del germinador de café.



Anexo 4. Instalación del estudio.



Anexo 5. Resultados del análisis completo del guano de isla.

| ITEM | | | 1 |
|--|----------------------|-----|---------------|
| Código de Laboratorio | | | FO377-PI-22 |
| Matriz Analizada | | | GUANO DE ISLA |
| Ensayo | Unidad | LC | RESULTADOS |
| Cenizas en base seca | % | ... | 41.46 |
| Materia Orgánica en base seca | % | ... | 58.54 |
| Materia Orgánica en base húmeda | % | ... | 44.24 |
| Nitrógeno | % | ... | 10.85 |
| Humedad | % | ... | 24.42 |
| Fósforo (P) | % | ... | 3.89 |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | % | ... | 8.91 |
| ... | | | ... |
| Densidad | (g/cm ³) | ... | ... |
| Conductividad Eléctrica | dS/m | ... | 114.10 |
| pH | unid. pH | ... | 7.77 |
| Análisis | | | |
| Potasio (K) | % | ... | 2.55 |
| Potasio (K ₂ O) | % | ... | 3.09 |
| Calcio (Ca) | % | ... | 4.70 |
| Magnesio (Mg) | % | ... | 0.50 |
| Zinc (Zn) | mg/kg | ... | 281.75 |
| Cobre (Cu) | mg/kg | ... | 5.00 |
| Fierro (Fe) | mg/kg | ... | 1375.00 |
| Manganeso (Mn) | mg/kg | ... | 1000.00 |
| Sodio (Na) | mg/kg | ... | 5150.00 |

Anexo 6. Elaboración de los bioles a base de guano de isla.



Anexo 7. Análisis completo del biol guano de isla con 15 días de fermentación.

| Código Lab. | Descripción de muestra | Cenizas en base seca (%) | Materia Orgánica en base seca (%) | Materia Orgánica en base húmeda (%) | Nitrógeno (%) | Humedad (%) | Fósforo P (%) | Fósforo P ₂ O ₅ (%) |
|-------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------|---------------|---|
| AB1 | BIOL 15 DIAS | 40,14 | 59,86 | 3,29 | 1,1 | 94,50 | 0,86 | 1,97 |
| AB2 | BIOL 15 DIAS | 42,65 | 57,35 | 3,07 | 1,2 | 94,64 | 0,85 | 1,96 |
| AB3 | BIOL 15 DIAS | 41,26 | 58,74 | 3,20 | 0,8 | 94,54 | 0,86 | 1,97 |
| AB4 | BIOL 15 DIAS | 42,17 | 57,83 | 3,00 | 0,9 | 94,81 | 0,89 | 2,03 |
| AB5 | BIOL 15 DIAS-P | 39,85 | 60,15 | 3,27 | 1,0 | 94,56 | 0,87 | 2,00 |

| Código Lab. | Descripción de muestra | C.E. (dS/m) | pH | Potasio (%) | | Calcio (%) | | Magnesio (ppm) | | Zn ppm | Cu ppm | Na ppm | Cd ppm |
|-------------|------------------------|-------------|------|-------------|------------------|------------|------|----------------|-------|--------|--------|---------|--------|
| | | | | K | K ₂ O | Ca | CaO | Mg | MgO | | | | |
| AB1 | BIOL 15 DIAS | 79,00 | 8,72 | 1,64 | 1,98 | 0,67 | 0,93 | 50,00 | 83,00 | 29,80 | 34,42 | 2497,00 | 0,90 |
| AB2 | BIOL 15 DIAS | 80,00 | 8,59 | 1,87 | 2,27 | 0,81 | 1,13 | 53,30 | 88,48 | 33,68 | 34,20 | 2400,00 | 0,90 |
| AB3 | BIOL 15 DIAS | 83,10 | 8,48 | 1,67 | 2,02 | 0,84 | 1,17 | 46,85 | 77,77 | 33,90 | 37,20 | 2202,00 | 0,93 |
| AB4 | BIOL 15 DIAS | 83,00 | 8,39 | 1,64 | 1,99 | 0,80 | 1,11 | 45,00 | 74,70 | 33,17 | 35,15 | 2200,00 | 0,93 |
| AB5 | BIOL 15 DIAS | 79,80 | 8,56 | 1,58 | 1,91 | 0,72 | 1,01 | 48,20 | 80,01 | 36,62 | 36,83 | 2117,00 | 0,94 |

Anexo 8. Análisis completo del biol guano de isla con 30 días de fermentación.

| Código Lab. | Descripción de muestra | Cenizas en base seca (%) | Materia Orgánica en base seca (%) | Materia Orgánica en base húmeda (%) | Nitrógeno (%) | Humedad (%) | Fósforo P (%) | Fósforo P ₂ O ₅ (%) |
|-------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------|---------------|---|
| AB6 | BIOL 30 DIAS | 40,34 | 59,66 | 3,03 | 1,3 | 94,92 | 0,91 | 2,09 |
| AB7 | BIOL 30 DIAS | 39,63 | 60,37 | 2,91 | 1,4 | 95,17 | 0,95 | 2,18 |
| AB8 | BIOL 30 DIAS | 37,65 | 62,35 | 3,04 | 1,8 | 95,13 | 0,94 | 2,16 |
| AB9 | BIOL 30 DIAS | 39,94 | 60,06 | 2,91 | 1,3 | 95,16 | 0,93 | 2,12 |
| AB10 | BIOL 30 DIAS - P | 39,66 | 60,34 | 3,08 | 1,3 | 94,90 | 0,91 | 2,08 |

| Código Lab. | Descripción de muestra | C.E. dS/m | pH | Potasio (%) | | Calcio (%) | | Magnesio (ppm) | | Zn ppm | Cu ppm | Na ppm | Cd ppm |
|-------------|------------------------|-----------|------|-------------|------------------|------------|------|----------------|-------|--------|--------|---------|--------|
| | | | | K | K ₂ O | Ca | CaO | Mg | MgO | | | | |
| AB6 | BIOL 30 DIAS | 86,20 | 8,18 | 1,58 | 1,91 | 0,80 | 1,13 | 52,13 | 86,53 | 30,17 | 32,77 | 2086,00 | 0,94 |
| AB7 | BIOL 30 DIAS | 64,10 | 8,55 | 1,41 | 1,71 | 0,85 | 1,18 | 48,50 | 80,51 | 27,47 | 33,10 | 1705,00 | 0,93 |
| AB8 | BIOL 30 DIAS | 84,90 | 8,29 | 1,53 | 1,85 | 0,90 | 1,26 | 43,65 | 72,46 | 29,77 | 36,42 | 1921,00 | 0,91 |
| AB9 | BIOL 30 DIAS | 82,10 | 8,21 | 1,51 | 1,83 | 0,81 | 1,13 | 57,03 | 94,66 | 27,72 | 34,45 | 1883,00 | 0,92 |
| AB10 | BIOL 30 DIAS - P | 84,60 | 8,35 | 1,22 | 1,48 | 0,77 | 1,08 | 51,00 | 62,91 | 25,17 | 33,53 | 1424,00 | 0,93 |

Anexo 9. Análisis completo del biol guano de isla con 45 días de fermentación.

| Código Lab. | Descripción de muestra | Cenizas en base seca (%) | Materia Orgánica en base seca (%) | Materia Orgánica en base húmeda (%) | Nitrógeno (%) | Humedad (%) | Fósforo P (%) | Fósforo P ₂ O ₅ (%) |
|-------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------|---------------|---|
| AB11 | BIOL 45 DIAS | 39,45 | 60,55 | 2,83 | 1,80 | 95,32 | 0,96 | 2,20 |
| AB12 | BIOL 45 DIAS | 38,12 | 61,88 | 2,84 | 1,80 | 95,40 | 0,99 | 2,26 |
| AB13 | BIOL 45 DIAS | 36,74 | 63,26 | 2,75 | 1,70 | 95,65 | 1,02 | 2,32 |
| AB14 | BIOL 45 DIAS | 39,00 | 61,00 | 2,98 | 1,30 | 95,11 | 0,92 | 2,10 |

| Código Lab. | Descripción de muestra | C.E. ds/m | pH | Potasio (%) | | Calcio (%) | | Magnesio (ppm) | | Zn ppm | Cu ppm | Na ppm | Cd ppm |
|-------------|------------------------|-----------|------|-------------|------------------|------------|------|----------------|-------|--------|--------|---------|--------|
| | | | | K | K ₂ O | Ca | CaO | Mg | MgO | | | | |
| AB11 | BIOL 45 DIAS | 84,50 | 8,56 | 1,44 | 1,74 | 0,76 | 1,07 | 41,80 | 69,39 | 31,64 | 31,64 | 1261,00 | 0,93 |
| AB12 | BIOL 45 DIAS | 89,10 | 8,12 | 1,29 | 1,56 | 0,80 | 1,12 | 46,13 | 76,57 | 31,40 | 31,40 | 1315,00 | 0,95 |
| AB13 | BIOL 45 DIAS | 89,50 | 8,08 | 1,41 | 1,71 | 0,85 | 1,18 | 43,15 | 71,63 | 28,35 | 28,35 | 1167,00 | 0,96 |
| AB14 | BIOL 45 DIAS | 91,80 | 9,31 | 1,43 | 1,73 | 1,00 | 1,39 | 47,50 | 78,85 | 29,50 | 36,72 | 1412,00 | 0,96 |

Anexo 10. Aplicación de los bioles a los distintos tratamientos del experimento.



Anexo 11. Evaluación de los distintos tratamientos del experimento.



Anexo 12. Plántulas de café representativas de cada tratamiento



Anexo 13. Procedimiento para determinar el porcentaje de materia seca



Anexo 14. Secado en estufa de las plántulas de café.



Anexo 15. Sustratos de cada tratamiento previo análisis completo.



Anexo 16. Resultados del análisis completo del sustrato del Tratamiento 0.

| Código | | Análisis Mecánico | | | Clase textural | C.E. | | pH (1:1) | MO | N | P | K |
|------------|---------|-------------------|-------|---------|----------------|------|------|----------|------|------|-------|-------|
| Lab. | Campo | Arena | Limo | Arcilla | | dS/m | mS/m | | % | % | ppm | Ppm |
| | | (%) | | | | | | | | | | |
| SU17-PI-23 | Control | 74,10 | 12,22 | 13,69 | Arena Franca | 0,68 | 68,4 | 4,78 | 6,55 | 0,42 | 20,89 | 59,97 |

| CIC | Cationes Cambiables (meq/100 g) | | | | | CICe | % Base cambiabile | % Acidez Cambiable |
|-----|---------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------|------|-------------------|--------------------|
| | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ + H | | | |
| | (meq/100 g) | | | | | | | |
| ... | 2,00 | 0,96 | 0,15 | 0,00 | 0,69 | 3,80 | 81,83 | 18,17 |

| Lab. | Campo | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
|------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| SU17-PI-23 | Control | 9,95 | 2,84 | 40,00 | 5,06 |

Anexo 17. Resultados del análisis completo del sustrato del Tratamiento 1.

| Código | | Análisis Mecánico | | | Clase textural | C.E. | | pH (1:1) | MO | N | P | K |
|------------|---------------|-------------------|-------|---------|----------------|------|------|----------|------|------|-------|--------|
| Lab. | Campo | Arena | Limo | Arcilla | | dS/m | mS/m | | % | % | ppm | Ppm |
| | | (%) | | | | | | | | | | |
| SU18-PI-23 | Tratamiento 1 | 74,24 | 14,00 | 11,76 | Arena Franca | 0,98 | 97,7 | 3,86 | 6,33 | 0,49 | 82,68 | 208,66 |

| CIC | Cationes Cambiables (meq/100 g) | | | | | CICe | % Base cambiabile | % Acidez Cambiable |
|-----|---------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------|------|-------------------|--------------------|
| | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ + H | | | |
| | (meq/100 g) | | | | | | | |
| ... | 2,14 | 1,14 | 0,52 | 0,00 | 0,70 | 4,50 | 84,43 | 15,57 |

| Lab. | Campo | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
|------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| SU18-PI-23 | Tratamiento 1 | 3,61 | 2,82 | 45,00 | 5,71 |

Anexo 18. Resultados del análisis completo del sustrato del Tratamiento 2.

| Código | | Análisis Mecánico | | | Clase textural | C.E. | | pH (1:1) | MO | N | P | K |
|------------|---------------|-------------------|-------|---------|----------------|------|-------|----------|------|------|-------|--------|
| Lab. | Campo | Arena | Limo | Arcilla | | dS/m | mS/m | | % | % | ppm | Ppm |
| SU19-PI-23 | Tratamiento 2 | 72,17 | 16,14 | 11,69 | Arena Franca | 2,51 | 251,0 | 3,83 | 6,07 | 0,49 | 78,25 | 264,63 |

| CIC | Cationes Cambiables (meq/100 g) | | | | | CICe | % Base cambiabile | % Acidez Cambiable |
|-----|---------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------|------|-------------------|--------------------|
| | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ + H | | | |
| | (meq/100 g) | | | | | | | |
| ... | 5,96 | 1,26 | 0,66 | 0,00 | 0,70 | 8,58 | 91,84 | 8,16 |

| Lab. | Campo | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
|------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| SU19-PI-23 | Tratamiento 2 | 3,18 | 2,89 | 47,04 | 5,41 |

Anexo 19. Resultados del análisis completo del sustrato del Tratamiento 3.

| Código | | Análisis Mecánico | | | Clase textural | C.E. | | pH (1:1) | MO | N | P | K |
|------------|---------------|-------------------|-------|---------|----------------|------|-------|----------|------|------|-------|--------|
| Lab. | Campo | Arena | Limo | Arcilla | | dS/m | mS/m | | % | % | ppm | Ppm |
| SU20-PI-23 | Tratamiento 3 | 70,10 | 16,14 | 13,76 | Arena Franca | 3,25 | 325,0 | 3,82 | 7,06 | 0,48 | 78,62 | 446,05 |

| CIC | Cationes Cambiables (meq/100 g) | | | | | CICe | % Base cambiabile | % Acidez Cambiable |
|-----|---------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------|-------|-------------------|--------------------|
| | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ + H | | | |
| | (meq/100 g) | | | | | | | |
| ... | 10,59 | 4,25 | 1,12 | 0,00 | 0,71 | 16,67 | 95,74 | 4,26 |

| Lab. | Campo | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
|------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| SU20-PI-23 | Tratamiento 3 | 3,50 | 2,62 | 52,50 | 5,43 |

Anexo 20. Análisis completo del agua utilizada para el riego del vivero.

| ITEM | 1 | | |
|-------------------------|-------------|------|------------|
| Código de Laboratorio | AG101-PI-23 | | |
| Matriz Analizada | AGUA | | |
| Ensayo | Unidad | LC | RESULTADOS |
| pH | Unid. pH | ... | 7,55 |
| Conductividad Eléctrica | µS/cm | ... | 354,00 |
| Cationes | | | |
| Calcio | meq/L | ... | 0,16 |
| Magnesio | meq/L | ... | 0,05 |
| Potasio | meq/L | 0,01 | < LC |
| Sodio | meq/L | 0,01 | < LC |
| Suma de cationes | meq/L | ... | 0,21 |
| Aniones | | | |
| Nitratos | meq/L | 0,01 | < LC |
| Carbonatos | meq/L | ... | 0,00 |
| Bicarbonatos | meq/L | ... | 0,12 |
| Sulfatos | meq/L | 0,01 | < LC |
| Cloruros | meq/L | 0,01 | < LC |
| Suma de aniones | meq/L | ... | 0,12 |
| Cobre | meq/100 g | 0,01 | 0,157 |
| Fierro | meq/100 g | 0,01 | < LC |
| Zinc | meq/100 g | 0,01 | < LC |
| Manganeso | meq/100 g | 0,01 | < LC |

Anexo 21. Resultados de los análisis de nutrientes del Tratamiento 0.

| Código Lab | Descripción de muestra | Nitrógeno (%) | Fósforo P (ppm) | Fósforo P (%) | Fósforo P ₂ O ₅ (%) |
|------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------|---|
| FO-01 | TOA | 1,5 | 512,56 | 0,051 | 0,117 |
| FO-02 | TOB | 1,3 | 487,77 | 0,049 | 0,112 |
| FO-03 | TOC | 1,7 | 475,38 | 0,048 | 0,109 |
| FO-04 | TOD | 1,2 | 462,99 | 0,046 | 0,106 |
| FO-05 | TOE | 1,5 | 187,77 | 0,049 | 0,112 |

| Código Lab | Descripción de muestra | Potasio (K) | | Calcio (Ca) | | Magnesio | | Zn | |
|------------|------------------------|-------------|-------|-------------|-------|----------|-------|--------|-------|
| | | ppm | % | ppm | % | ppm | % | ppm | % |
| FO-01 | TOA | 22410,00 | 2,241 | 5720,00 | 0,572 | 2371,000 | 0,237 | 671,00 | 0,067 |
| FO-02 | TOB | 27575,00 | 2,758 | 5910,00 | 0,591 | 2421,000 | 0,242 | 740,00 | 0,074 |
| FO-03 | TOC | 21650,00 | 2,165 | 5140,00 | 0,514 | 2325,500 | 0,233 | 685,00 | 0,069 |
| FO-04 | TOD | 23235,00 | 2,324 | 5475,00 | 0,548 | 2399,000 | 0,240 | 685,00 | 0,069 |
| FO-05 | TOE | 22550,00 | 2,255 | 5635,00 | 0,564 | 2735,000 | 0,274 | 739,50 | 0,074 |

| Código Lab | Descripción de muestra | Cu | | Fe | | Mn | Na | |
|------------|------------------------|----------|-------|----------|-------|--------|---------|------|
| | | ppm | % | ppm | % | ppm | ppm | % |
| FO-01 | TOA | 1330,000 | 0,133 | 1813,500 | 0,181 | 42,500 | 244,85 | 0,02 |
| FO-02 | TOB | 1599,000 | 0,160 | 1858,000 | 0,185 | 42,400 | 279,25 | 0,03 |
| FO-03 | TOC | 1506,000 | 0,151 | 1892,000 | 0,189 | 44,600 | 284,30 | 0,03 |
| FO-04 | TOD | 1562,500 | 0,156 | 1734,500 | 0,173 | 40,000 | 1186,50 | 0,12 |
| FO-05 | TOE | 1637,000 | 0,164 | 1850,000 | 0,185 | 42,500 | 620,50 | 0,06 |

Anexo 22. Resultados de los análisis de nutrientes del Tratamiento 1.

| Código Lab | Descripción de muestra | Nitrógeno (%) | Fósforo P (ppm) | Fósforo P (%) | Fósforo P ₂ O ₅ (%) |
|------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------|---|
| FO-06 | T1F | 4,53 | 1528,86 | 0,153 | 0,350 |
| FO-07 | T1G | 4,59 | 1628,02 | 0,163 | 0,373 |
| FO-08 | T1H | 4,09 | 2098,98 | 0,210 | 0,481 |
| FO-09 | T1I | 4,59 | 1169,44 | 0,117 | 0,268 |
| FO-10 | T1J | 4,54 | 1727,17 | 0,173 | 0,396 |

| Código Lab | Descripción de muestra | Potasio (K) | | Calcio (Ca) | | Magnesio | | Zn | |
|------------|------------------------|-------------|-------|-------------|-------|----------|-------|--------|-------|
| | | ppm | % | ppm | % | ppm | % | ppm | % |
| FO-06 | T1F | 18690,00 | 1,869 | 2565,00 | 0,257 | 2172,000 | 0,217 | 790,00 | 0,079 |
| FO-07 | T1G | 18155,00 | 1,816 | 2425,50 | 0,243 | 2085,000 | 0,209 | 825,00 | 0,083 |
| FO-08 | T1H | 18005,00 | 1,801 | 2428,50 | 0,243 | 2112,000 | 0,211 | 214,50 | 0,081 |
| FO-09 | T1I | 17760,00 | 1,776 | 2470,00 | 0,247 | 2135,500 | 0,214 | 836,50 | 0,084 |
| FO-10 | T1J | 18020,00 | 1,802 | 2485,00 | 0,249 | 2056,500 | 0,206 | 835,00 | 0,084 |

| Código Lab | Descripción de muestra | Cu | | Fe | | Mn | Na | |
|------------|------------------------|----------|-------|----------|-------|--------|--------|------|
| | | ppm | % | ppm | % | ppm | ppm | % |
| FO-06 | T1F | 1735,000 | 0,174 | 1935,00 | 0,194 | 72,500 | 481,35 | 0,05 |
| FO-07 | T1G | 1745,000 | 0,175 | 1975,500 | 0,198 | 70,000 | 928,50 | 0,09 |
| FO-08 | T1H | 1729,000 | 0,173 | 2258,500 | 0,226 | 62,925 | 383,30 | 0,04 |
| FO-09 | T1I | 1615,000 | 0,162 | 2627,000 | 0,263 | 81,350 | 429,65 | 0,04 |
| FO-10 | T1J | 1755,000 | 0,176 | 2541,000 | 0,254 | 77,050 | 452,70 | 0,05 |

Anexo 23. Resultados de los análisis de nutrientes del Tratamiento 2.

| Código Lab | Descripción de muestra | Nitrógeno (%) | Fósforo P (ppm) | Fósforo P (%) | Fósforo P ₂ O ₅ (%) |
|------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------|---|
| FO-11 | T2K | 4,66 | 698,47 | 0,070 | 0,160 |
| FO-12 | T2L | 4,67 | 822,41 | 0,082 | 0,188 |
| FO-13 | T2M | 4,36 | 624,11 | 0,062 | 0,143 |
| FO-14 | T2N | 4,45 | 710,86 | 0,071 | 0,163 |
| FO-15 | T2O | 4,67 | 847,20 | 0,085 | 0,194 |

| Código Lab | Descripción de muestra | Potasio (K) | | Calcio (Ca) | | Magnesio | | Zn | |
|------------|------------------------|-------------|-------|-------------|-------|----------|-------|--------|-------|
| | | ppm | % | ppm | % | ppm | % | ppm | % |
| FO-11 | T2K | 18000,00 | 1,800 | 1585,00 | 0,159 | 2185,000 | 0,219 | 964,00 | 0,096 |
| FO-12 | T2L | 18600,00 | 1,860 | 1505,00 | 0,151 | 2222,500 | 0,222 | 985,00 | 0,099 |
| FO-13 | T2M | 17685,00 | 1,769 | 1485,00 | 0,149 | 2153,500 | 0,215 | 974,00 | 0,097 |
| FO-14 | T2N | 18275,00 | 1,828 | 1545,00 | 0,155 | 2433,500 | 0,243 | 995,00 | 0,100 |
| FO-15 | T2O | 17700,00 | 1,770 | 1585,00 | 0,159 | 2415,000 | 0,242 | 947,00 | 0,095 |

| Código Lab | Descripción de muestra | Cu | | Fe | | Mn | Na | |
|------------|------------------------|----------|-------|----------|-------|---------|--------|------|
| | | ppm | % | ppm | % | ppm | ppm | % |
| FO-11 | T2K | 2046,500 | 0,205 | 3020,000 | 0,302 | 101,000 | 367,95 | 0,04 |
| FO-12 | T2L | 2090,000 | 0,209 | 2540,000 | 0,254 | 105,000 | 402,35 | 0,04 |
| FO-13 | T2M | 1927,500 | 0,193 | 3060,000 | 0,306 | 105,000 | 406,30 | 0,04 |
| FO-14 | T2N | 2099,500 | 0,210 | 2641,000 | 0,264 | 110,000 | 422,70 | 0,04 |
| FO-15 | T2O | 2084,500 | 0,208 | 3035,000 | 0,304 | 120,000 | 449,70 | 0,04 |

Anexo 24. Resultados de los análisis de nutrientes del Tratamiento 3.

| Código Lab | Descripción de muestra | Nitrógeno (%) | Fósforo P (ppm) | Fósforo P (%) | Fósforo P ₂ O ₅ (%) |
|------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------|---|
| FO-16 | T3P | 4,58 | 735,65 | 0,074 | 0,168 |
| FO-17 | T3Q | 4,71 | 438,20 | 0,044 | 0,100 |
| FO-18 | T3R | 4,76 | 475,38 | 0,048 | 0,109 |
| FO-19 | T3S | 4,76 | 723,26 | 0,072 | 0,166 |
| FO-20 | T3T | 4,70 | 475,38 | 0,048 | 0,109 |

| Código Lab | Descripción de muestra | Potasio (K) | | Calcio (Ca) | | Magnesio | | Zn | |
|------------|------------------------|-------------|-------|-------------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | ppm | % | ppm | % | ppm | % | ppm | % |
| FO-16 | T3P | 18760,00 | 1,876 | 1560,00 | 0,156 | 2064,000 | 0,206 | 1029,00 | 0,103 |
| FO-17 | T3Q | 19060,00 | 1,906 | 1896,50 | 0,190 | 2236,500 | 0,224 | 01044,50 | 0,104 |
| FO-18 | T3R | 19360,00 | 1,936 | 1855,00 | 0,186 | 2185,000 | 0,219 | 1096,00 | 0,110 |
| FO-19 | T3S | 18085,00 | 1,809 | 1770,00 | 0,177 | 2245,000 | 0,225 | 1100,50 | 0,110 |
| FO-20 | T3T | 18605,00 | 1,861 | 1725,00 | 0,173 | 2377,000 | 0,238 | 1098,00 | 0,110 |

| Código Lab | Descripción de muestra | Cu | | Fe | | Mn | Na | |
|------------|------------------------|----------|-------|----------|-------|---------|--------|------|
| | | ppm | % | ppm | % | ppm | ppm | % |
| FO-16 | T3P | 2043,500 | 0,204 | 3121,000 | 0,312 | 120,000 | 407,90 | 0,04 |
| FO-17 | T3Q | 2331,500 | 0,233 | 3620,000 | 0,362 | 131,000 | 474,25 | 0,05 |
| FO-18 | T3R | 2328,000 | 0,233 | 3696,000 | 0,370 | 134,800 | 462,30 | 0,05 |
| FO-19 | T3S | 2262,000 | 0,226 | 3973,000 | 0,397 | 148,650 | 511,00 | 0,05 |
| FO-20 | T3T | 2390,000 | 0,239 | 3485,000 | 0,349 | 140,000 | 417,15 | 0,04 |