

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Dosis de encalado y biochar enriquecido en el rendimiento y
calidad del café (*Coffea arábica* L.) en Samugari, Ayacucho - 2023**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:
Bach. Jhorles HUALLPA MUCHA

ASESOR:
Dr. Raúl José PALOMINO MARCATOMA

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A nuestro padre celestial por ser mediador de todas las bendiciones recibidas, por mantenerme firme y darme fuerzas para seguir adelante.

A mis queridos padres: Asunción y Leonor por todo el apoyo incondicional, consejos y motivación constante para seguir mis metas y cumplir mi sueño.

A mis apreciados hermanos: Ronald y Yaks por estar siempre presentes brindándome amor fraternal y su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haberme refugiado en sus aulas y formarme profesionalmente, para ser una persona al servicio de la sociedad.

A la Facultad de Ciencias Agrarias en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, quienes asistieron en mi formación profesional, brindándome su enseñanza y compartiendo sus experiencias.

A mi asesor Dr. Raúl José Palomino Marcatoma, docente de la Facultad de Ciencias Agrarias, por su asesoramiento, orientación y ayuda en el desarrollo y conducción del presente trabajo de investigación.

A todas aquellas personas y amistades, quienes me brindaron su ayuda de diferentes maneras en la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.2. Acidez del suelo.....	5
1.2.1. Origen de la acidificación del suelo.....	6
1.2.2. Influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes	7
1.2.3. Las toxicidades del aluminio y manganeso en el suelo.....	9
1.2.4. Corrección de la acidez en el suelo.....	10
1.3. Encalado.....	10
1.3.1. Época y método de aplicación de la cal.....	11
1.3.2. Reacción de la cal en el suelo	13
1.3.3. Material encalante.....	14
1.4. Dolomita	15
1.4.1. Propiedades físicas y químicas.....	16
1.4.2. Modo de aplicación de la cal dolomita	17
1.4.3. Beneficios de la cal dolomita	17
1.5. Biochar.....	18
1.5.1. Origen y características del biochar.....	19
1.5.2. Biochar y sus aplicaciones ambientales.....	19

1.5.3. Activación del biochar.....	20
1.6. Cultivo de café	21
1.6.1. Origen del café	21
1.6.2. Clasificación taxonómica	22
1.6.3. Descripción morfológica del café	22
1.6.4. Condiciones edafoclimáticas.....	24
1.6.5. Especies botánicas del café	26
1.6.6. Variedades del café arábica.....	26
1.6.7. Labores culturales del café.....	28
1.6.8. Cosecha y postcosecha del café	31
1.6.9. Calidad del grano de café	32
1.6.10. Catación del café.....	36
CAPÍTULO II.....	37
METODOLOGÍA.....	37
2.1. Ubicación del campo experimental.....	37
2.2. Antecedentes del terreno.....	37
2.3. Características climáticas.....	38
2.4. Análisis del suelo e interpretación	39
2.5. Cultivo de café	40
2.6. Material encalante	41
2.7. Biochar enriquecido	41
2.8. Factores de estudio.....	41
2.9. Tratamientos en estudio	42
2.10. Duración del experimento.....	43
2.11. Características de la unidad y campo experimental.....	43
2.12. Instalación y conducción del experimento.....	44
2.13. Variables en evaluación	46

2.13.1. <i>Del rendimiento del café</i>	46
2.13.2. <i>De la calidad del café</i>	47
2.13.3. <i>De la relación beneficio/costo del cultivo de café</i>	48
2.14. Diseño experimental y análisis estadístico	48
2.15. Análisis económico	48
2.15.1. <i>Costo de producción (S/. ha)</i>	48
2.15.2. <i>Precio del producto (S/. kg)</i>	48
2.15.3. <i>Valor bruto de la producción (S/. kg)</i>	49
2.15.4. <i>Valor neto de la producción (S/. ha)</i>	49
2.15.5. <i>Rentabilidad (B/C)</i>	49
CAPÍTULO III.....	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.1. Del rendimiento de café	50
3.1.1. <i>Peso de mil semillas</i>	50
3.1.2. <i>Del peso de grano pergamino seco por hectárea</i>	53
3.2. Sobre la calidad del café.....	61
3.2.1. <i>Calidad física</i>	61
3.2.2. <i>Calidad sensorial u organoléptica</i>	68
3.3. Análisis económico	77
3.3.1. <i>Ingreso bruto (S/. ha)</i>	77
3.3.2. <i>Costo total de producción (S/. ha)</i>	78
3.3.3. <i>Ingreso neto (S/. ha)</i>	79
3.3.4. <i>Rentabilidad</i>	80
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES.....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 <i>Propiedades físicas y químicas de la dolomita</i>	16
Tabla 2.1 <i>Precipitación y temperatura mensual durante el periodo de septiembre del 2023 - agosto del 2025 de la estación meteorológica de Ayna – San Francisco</i>	38
Tabla 2.2 <i>Resultados del análisis de caracterización del suelo</i>	40
Tabla 2.3 <i>Descripción y codificación de los tratamientos</i>	42
Tabla 3.1 <i>Análisis de varianza del peso de mil semillas de café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido</i>	50
Tabla 3.2 <i>Análisis de varianza del rendimiento en grano pergamino seco del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido</i>	53
Tabla 3.3 <i>Resultados de la evaluación del análisis físico de los granos de café Catimor</i>	62
Tabla 3.4 <i>Análisis de varianza de coproductos del café en el análisis físico bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido</i>	64
Tabla 3.5 <i>Análisis de varianza de cascarilla y/o pergamino del café en el análisis físico bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido</i>	65
Tabla 3.6 <i>Análisis de varianza del rendimiento físico del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido</i>	66
Tabla 3.7 <i>Resultados de evaluación de calidad sensorial del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido</i>	69
Tabla 3.8 <i>Rendimiento, precio de venta e ongreso bruto en la producción del cultivo de cafe</i>	77
Tabla 3.9 <i>Costo directo, indirecto y total en la producción del cultivo de café</i>	78
Tabla 3.10 <i>Ingreso neto en la producción del cultivo de café</i>	79
Tabla 3.11 <i>Rentabilidad en el cultivo de café expresado en beneficio/costo</i>	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Disponibilidad de los nutrientes respecto al pH	9
Figura 2.1 Mapa de ubicación del experimento	37
Figura 2.2 Climograma correspondiente al periodo septiembre 2023 – agosto 2024 de la estación meteorológica de Ayna - San Francisco.....	39
Figura 2.3 Croquis del campo experimental con los tratamientos aleatorizados	43
Figura 3.1 Prueba de Duncan (0.05) del peso de mil semillas del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido.	52
Figura 3.2 Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento promedio de grano pergamino seco del café por efecto de las dosis de dolomita.	54
Figura 3.3 Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento de grano pergamino seco del café bajo el efecto de las dosis de biochar enriquecido.	55
Figura 3.4 Superficie de respuesta del rendimiento de grano pergamino seco del café Catimor bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido	57
Figura 3.5 Isolíneas del rendimiento de grano pergamino seco del café Catimor en respuesta a las diferentes dosis de dolomita.....	58
Figura 3.6 Isolíneas del rendimiento de grano pergamino seco del café Catimor en respuesta a las diferentes dosis de biochar.....	59
Figura 3.7 Tendencia de rendimiento de grano pergamino seco del café por efecto de dosis de biochar enriquecido.....	60
Figura 3.8 Tendencia de rendimiento de grano pergamino seco del café por efecto de dosis de biochar enriquecido	61
Figura 3.9 Prueba de Duncan (0.05) de coproductos del café en el análisis físico bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido.....	64
Figura 3.10 Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento físico del café bajo el efecto de las dosis de dolomita.....	67
Figura 3.11 Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre el atributo fragancia en la calidad sensorial del café.	70
Figura 3.12 Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre los atributos sabor, sabor residual y acidez en la calidad sensorial del café.....	71
Figura 3.13 Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre el atributo cuerpo en la calidad sensorial del café	72
Figura 3.14 Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre los atributos balance y puntaje del catador en la calidad sensorial del café.	73
Figura 3.15 Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre la calidad sensorial del café Catimor.	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Costos de producción para una hectárea de cultivo de café</i>	90
Anexo 2 <i>Resultados del análisis de caracterización de los suelos</i>	110
Anexo 3 <i>Resultados de datos obtenidos de los variables evaluados</i>	111
Anexo 4 <i>Evidencias fotográficas de manejo del experimento</i>	114
Anexo 5 <i>Evidencias fotográficas del análisis físico y organoléptico del café</i>	116

RESUMEN

La acidez de los suelos de Palmapampa - Samugari es uno de los factores que limitan la producción agrícola; siendo el encalado y el uso de biochar enriquecido una respuesta al problema. En este contexto, se investigó en suelos con pH 4.46, clasificados como muy fuertemente ácidos, con el objetivo de evaluar la influencia de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre el rendimiento y calidad del café. El experimento se dispuso en un factorial de cinco niveles de dolomita y cuatro niveles de biochar con 3 repeticiones que permite 60 unidades experimentales dispuestas en el Diseño de Bloques Completos al Azar. Se evaluó el rendimiento (peso de mil semillas y grano pergamino seco), la calidad física y organoléptica de acuerdo a la Norma Técnica Peruana y la Specialty Coffee Association, y la relación beneficio costo. El mayor peso de mil semillas con 208.33 g se logró con la combinación de 6 t de dolomita por hectárea y 150 kg de biochar enriquecido por hectárea, mientras que el mayor rendimiento de grano pergamino seco (3019.58 kg/ha) con 6 t (dolomita)/ha. El mayor rendimiento físico (80.45 %) se logró con la adición de 4.5 t (dolomita)/ha y, el menor porcentaje de coproductos (1.13 %) con 6 t (dolomita)/ha. El mayor puntaje en calidad sensorial con 85.75 se obtuvo con 6 t (dolomita)/ha y 150 kg (biochar enriquecido)/ha que lo tipifica como café especial “excelente”. El mayor valor de la relación beneficio costo (1.69) se logra con 6 t de dolomita por hectárea y 100 kg de biochar enriquecido por hectárea. Técnica y económicamente se concluye que la incorporación de 6 t (dolomita)/ha y 150 kg (biochar enriquecido)/ha es el mejor tratamiento en el rendimiento y calidad del café.

Palabras clave: *Coffea arábica*, dolomita, biochar enriquecido, calidad física y sensorial del café.

ABSTRACT

The acidity of the soils in Palmapampa-Samugari is one of the factors limiting agricultural production; liming and the use of enriched biochar are a solution to this problem. In this context, research was conducted on soils with a pH of 4.46, classified as very strongly acidic, to evaluate the influence of dolomite and enriched biochar doses on coffee yield and quality. The experiment was arranged in a factorial with five levels of dolomite and four levels of biochar, with three replications, allowing for 60 experimental units arranged in a Randomized Complete Block Design. Yield (weight of one thousand seeds and dry parchment grain), physical and organoleptic quality were evaluated according to the Peruvian Technical Standard and the Specialty Coffee Association, and the cost-benefit ratio. The highest thousand seed weight, 208.33 g, was achieved with a combination of 6 t of dolomite per hectare and 150 kg of enriched biochar per hectare, while the highest dry parchment grain yield (3019.58 kg/ha) was achieved with 6 t (dolomite)/ha. The highest physical yield (80.45%) was achieved with the addition of 4.5 t (dolomite)/ha, and the lowest percentage of by-products (1.13%) was achieved with 6 t (dolomite)/ha. The highest sensory quality score, 85.75, was obtained with 6 t (dolomite)/ha and 150 kg (enriched biochar)/ha, which classifies it as specialty coffee “excellent”. The highest benefit-cost ratio (1.69) was achieved with 6 t of dolomite per hectare and 100 kg of enriched biochar per hectare. Technically and economically, it is concluded that the incorporation of 6 t (dolomite)/ha and 150 kg (enriched biochar)/ha is the best treatment for coffee yield and quality.

Keywords: *Coffea arabica*, dolomite, enriched biochar, physical and sensory quality of coffee.

INTRODUCCIÓN

En los suelos ácidos de la selva peruana, uno de los principales factores limitantes es la elevada concentración de aluminio acompañada de un pH reducido. Estas condiciones ocasionan una disminución tanto en la productividad del suelo como en su capacidad de intercambio catiónico, lo que hace necesaria la aplicación de enmiendas para corregir el pH (Castro, 2010). Por su parte, Carvajal y Gómez (2016) mencionan que la acidez del suelo influye tanto de manera directa como indirecta en el desarrollo de las plantas. De forma indirecta, afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales, incrementa la presencia de elementos fitotóxicos, limita la actividad microbiana y altera las propiedades físicas del suelo

En el cultivo de café la acidez es uno de los factores edáficos más relevantes que afecta su desarrollo y productividad del cultivo, especialmente en regiones tropicales donde predominan suelos altamente meteorizados. Un pH bajo limita la disponibilidad de nutrientes esenciales como el calcio, magnesio y fósforo, al mismo tiempo que favorece la solubilidad de elementos tóxicos como el aluminio y el manganeso, lo que perjudica el crecimiento radicular y reduce el rendimiento del cultivo (Sánchez, 2022). En zonas cafetaleras de altura, donde se concentra gran parte de la producción de café de calidad, la acidez del suelo representa un desafío agronómico que debe ser abordado mediante prácticas de manejo adecuadas.

Frente a este problema es fundamental proponer alternativas científicamente comprobadas que permitan mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, con el propósito de avanzar en la recuperación de los suelos degradados (Espinoza, 2019). El encalado se ha consolidado como una práctica eficaz para neutralizar la acidez del suelo, mediante la aplicación de materiales alcalinos como la dolomita, que eleva el pH y mejora la disponibilidad de nutrientes (Cruz & Macal, 2018). Paralelamente, el uso de biochar ha ganado atención por su capacidad para mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de nutrientes y contribuir a la reducción de la acidez de forma más prolongada (Quiñonez et al., 2021). La combinación de estas prácticas ofrece un enfoque sostenible y eficaz para recuperar suelos degradados y potenciar el rendimiento y la calidad del café, promoviendo al mismo tiempo la salud del agroecosistema.

Por las consideraciones indicadas, en el presente trabajo de investigación se consideró los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto de encalado y biochar enriquecido en el rendimiento y calidad del café (*Coffea arabica* L.) en Samugari, Ayacucho – 2023.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de los niveles de dolomita en el rendimiento y calidad del café.
2. Comprobar el efecto de las dosis de biochar enriquecido en el rendimiento y calidad del café.
3. Evaluar el efecto de la interacción de las dosis de dolomita y biochar en el rendimiento y calidad del café.
4. Valuar la relación beneficio/costo en el rendimiento y calidad del café.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Cargua et al. (2022) en su investigación titulado “crecimiento y calidad de plantas de café arábica con la aplicación de biochar y biofertilizantes en vivero” menciona lo siguiente:

El objetivo fue evaluar el efecto de biochar y biofertilizantes sobre el crecimiento y calidad de plántulas de café arábica en vivero. El ensayo fue conducido y analizado bajo el diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos, cuatro réplicas y 20 unidades experimentales. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, y la separación de medias con prueba de Tukey. Además, se realizó análisis de correlaciones entre variables de crecimiento y calidad de plántula. Dejan en claro que con el uso de biochar (20 g/kg sustrato) y biofertilizante tienden a promover un mayor crecimiento y calidad de plántulas de café arábica en fase de vivero. Las plántulas de café mostraron mayor tendencia de respuesta en crecimiento y calidad a la aplicación combinada de biochar + biofertilizante. Sin embargo, este tratamiento fue estadísticamente similar a la aplicación individual de biochar, biofertilizante y fertilización química.

Quiñónez et al. (2021) en su investigación titulada “Biochar: aplicaciones y efectos en combinación con fertilizantes minerales en 3 variedades de café (*coffea sp.*) en la provincia de El Oro” señalan que:

El objetivo de su investigación fue evaluar tres dosis de biochar en combinación con un fertilizante químico (N-P-K) sobre tres variedades comerciales de café en la provincia de El Oro. Los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante ANOVA para verificar la dosis óptima en las tres variedades y determinar si existió significancia entre los tratamientos. Donde obtuvieron como resultado que la variedad Sarchimor fue la que mejor respondió en cuanto a altura de planta y largo de raíz, los mejores resultados se obtuvieron con dosis de 5 y 15 g de biochar con fertilizante, la variedad Lojana tuvo buena respuesta a la adición de 5 y 15 g de biochar con fertilizante para las variables largo de raíz y altura de planta y la variedad Conilon respondió favorablemente para la adición de 5 y 15 g de biochar con fertilizante a las variables analizadas, pero con valores más bajos que las variedades Sarchimor y Lojana.

Por otro lado, Sánchez (2022), en su tesis titulada “rendimiento y estado nutricional del café (*Coffea arabica* L.) en respuesta a aplicación de biocarbón” menciona que:

su investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de biocarbón obtenido de la pulpa de café sobre el comportamiento fisiológico de las plántulas y rendimiento de café (*Coffea arabica* L. var. Castillo) en condiciones de déficit hídrico. La investigación fue desarrollada en dos etapas: i) vegetativa, usando plantas de tres meses de edad; y ii) producción, usando un cultivo comercial de café de tres años de edad. Cuatro dosis de BC (0, 4, 8 y 16 t ha⁻¹) y cuatro niveles de fertilización química (0%, 33%, 66% y 100%). Donde obtuvo en plantas de café bajo condiciones de riego reducido y sin aplicación de biocarbón, los diferentes procesos fisiológicos como el intercambio gaseoso de la hoja, la fluorescencia de la clorofila α , acumulación de materia seca y estatus hídrico fueron afectados negativamente. Adicionalmente, aplicaciones de 8 t/ha biochar causan un efecto positivo sobre el comportamiento fisiológico, lo cual fue evidenciado principalmente en una estimulación de la fotosíntesis y un mejor sistema de raíces destinado a aumentar un uso eficiente del agua en plantas de café Castillo bien irrigadas y con riego reducido.

Villamagua et al. (2021) en su artículo científico titulado “efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (*coffea arabica* L.) en Pueblo Nuevo, Cantón, Ecuador” señala lo siguiente:

El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de CaCO₃ sobre la corrección de la acidez y la disponibilidad de nutrientes en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.) de altura. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, con tres repeticiones y tres dosis de CaCO₃: 0,0; 0,50 y 0,63 kg/planta, que se aplicó en una superficie de 1 m². Cada bloque estuvo constituido por 16 plantas de café. Obtuvo con la aplicación de 5.0 y 6.3 t/ha de CaCO₃ que es notorio el incremento de pH de 4.0 a 6.3, la disminución de la concentración de iones H⁺ y Al⁺³; el incremento de la CIC de nivel bajo a medio; las evoluciones de los bases cambiales de rango bajo a medio; el incremento a rango alto de la saturación de bases y los niveles favorables de la relación de cationes para el desarrollo del cafeto. Por otro lado, la disponibilidad de N, P, S, Ca, Mg, K y Zn se ubicó en el rango alto; el Cu se mantuvo en el rango medio y el Fe y Mn disminuyeron a rango medio.

Por su parte, Ortez y Zavala (2014) en su investigación titulado “efecto de encalamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua” señalan que:

El objetivo fue determinar el efecto de enmiendas cálcicas en la corrección de acidez de dos suelos bajo cultivo de café. El ensayo tuvo seis tratamientos (tres dosis de cal y dos formulaciones de fertilización) en bloques completamente al azar (BCA), con tres repeticiones; cada suelo se evaluó de manera independiente. Llegó a concluir que las aplicaciones de cal tuvieron efecto positivo en la corrección de pH de los suelos y hubo efectos positivos de producción de café en suelos de textura fina. En los dos suelos (textura media y fina) los mejores resultados de pH final se obtuvieron con la aplicación de 1,515 kg/ha de la enmienda Triple Cal.

López et al. (2018), en su artículo científico titulado “efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*Coffea arabica* L.) en la reserva de la biosfera el triunfo, Chiapas, México” mencionan que:

El objetivo fue evaluar el efecto de la práctica del encalado y su interacción con la fertilización química sobre la planta de café y algunas características del suelo. Se utilizó el diseño de bloques al azar con cinco repeticiones, utilizando como unidad experimental una planta de café. Dejan claro que las condiciones de acidez en el suelo, al afectar el crecimiento normal de las raíces, limita la absorción de nutrientes, el desarrollo de la parte aérea de las plantas y el rendimiento de grano café. Para solucionar este tipo de problemas, la cal dolomita es una excelente opción bajo las condiciones de estudio aquí descritas. También muestran el efecto que tiene la fertilización nitrogenada en el aumento de la acidez y la limitada eficiencia que tienen los fertilizantes aplicados en un suelo con problema de acidez.

1.2. Acidez del suelo

Según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023) la acidez del suelo se refiere al nivel de acidez presente en un suelo, medido a través de su pH. Por consiguiente, un suelo se considera ácido si su pH es inferior a 7.0, y se clasifica como altamente ácido si el pH es inferior a 5.5. Esta acidez se divide en dos categorías: acidez total y acidez intercambiable. La acidez total incluye todos los compuestos capaces de donar protones (H^+) desde la fase sólida del suelo y se calcula restando las bases de intercambio (Ca^{++} ,

Mg⁺⁺, K⁺ y Na⁺) de la capacidad de intercambio de cationes (CIC). Por otro lado, la acidez intercambiable se compone de aluminio e hidrógeno presentes en el suelo. (Sadzawka & Campillo, s/f).

El manejo apropiado del pH del suelo resulta fundamental para establecer condiciones favorables de crecimiento en la mayoría de las especies vegetales. Esto se debe a que dicho parámetro regula tanto la solubilidad de los nutrientes como la de los metales potencialmente tóxicos. Por esta razón, cada especie vegetal presenta un rango óptimo de pH en el que se desarrolla adecuadamente (Moorberg & Crouse, 2022).

Por su parte Sadeghian (2016), señala que, para maximizar la productividad de los cultivos, es fundamental realizar un análisis exhaustivo del suelo para identificar las propiedades que pueden estar limitando el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto incluye evaluar factores como la acidez del suelo (pH), la estructura y textura del suelo, el contenido de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio), la presencia de materia orgánica, y el nivel de humedad. También es importante identificar cualquier presencia de contaminantes o salinidad que pueda afectar negativamente a las plantas. Una vez identificadas estas limitaciones, se pueden implementar prácticas de manejo específicas, como la corrección del pH mediante encalado, la aplicación de fertilizantes adecuados, la mejora de la estructura del suelo con materia orgánica, y el manejo adecuado del riego, para mejorar las condiciones del suelo y, en consecuencia, aumentar la productividad de los cultivos.

1.2.1. Origen de la acidificación del suelo

Calva y espinosa (2017), mencionan que “la acidez del suelo es causada principalmente por la presencia de iones de aluminio (Al⁺³) e hidrógeno (H⁺)” (p. 4). Según Osorio (2012), existen diversos factores que contribuyen a la acidificación del suelo, destacándose la descomposición de minerales aluminosilicatos durante el proceso de meteorización. Este proceso libera aluminio (Al⁺³) en la solución del suelo, ya que el aluminio atrapa iones hidroxilo (OH⁻) del agua y libera protones (H⁺). Como resultado, se incrementa la acidez del suelo.

Otras causas de la acidez, además de los iones de aluminio (Al⁺³) e hidrógeno (H⁺) mencionando por Osorio (2012), son los siguientes:

Hidrólisis causada por Fe^{3+} ; el hierro trivalente (Fe^{3+}) reacciona con agua para formar hidróxido de hierro ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) y liberar protones (H^+) aumentando la acidez, la descomposición microbiana de la materia orgánica; la actividad respiratoria de los microorganismos del suelo produce ácidos orgánicos y dióxido de carbono (CO_2), contribuyendo a la acidez, la oxidación microbiana de NH_4 a NO_3 ; los microorganismos oxidan el amonio (NH_4^+) para formar nitrato (NO_3^-) generando acidez en el proceso de nitrificación, la oxidación microbiana de S_2 y sulfuros; bacterias como *Acidithiobacillus thiooxidans* oxidan sulfuros para formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) aumentando la acidez del suelo, la absorción de nutrientes catiónicos; las raíces de las plantas y microorganismos liberan protones al suelo para absorber nutrientes catiónicos lo que reduce el pH cerca de las raíces, la lixiviación de bases intercambiables; en regiones muy lluviosas, los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) son arrastrados fuera del suelo y los sitios de intercambio son ocupados por H^+ aumentando la acidez, la lluvia ácida; la lluvia cerca de zonas urbanas puede tener un pH bajo debido a la presencia de gases contaminantes como CO_2 , NO_2 y SO_2 , que forman ácidos. (pp. 2–3)

Por otra parte, Castellanos (2014), que la acidez se genera por la remoción de los nutrientes por los cultivos, uso de fertilizantes nitrogenadas de reacción ácida, material parental ácido y el aluminio intercambiable; que se detallan en el siguiente:

Remoción de los nutrientes por los cultivos; los cultivos, especialmente los de alto rendimiento pueden ocasionar acidez al absorber cationes básicos como calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), uso de fertilizantes nitrogenadas de reacción ácida; los fertilizantes nitrogenados como el sulfato de amonio, nitrato de amonio y la urea incrementan la acidez del suelo, material parental ácido; la composición química del material parental del suelo influye en su acidez y el aluminio intercambiable; el aluminio (Al^{3+}) en la solución del suelo induce acidez al reaccionar con el agua y liberar hidrógeno. (p. 7)

1.2.2. Influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes

Sadeghian (2016) afirma que en los suelos con elevada acidez, las concentraciones solubles de aluminio y manganeso pueden alcanzar niveles tóxicos para las plantas. La acidez del suelo también modifica la estructura y actividad de las comunidades microbianas encargadas de la descomposición de la materia orgánica, así como de los procesos de

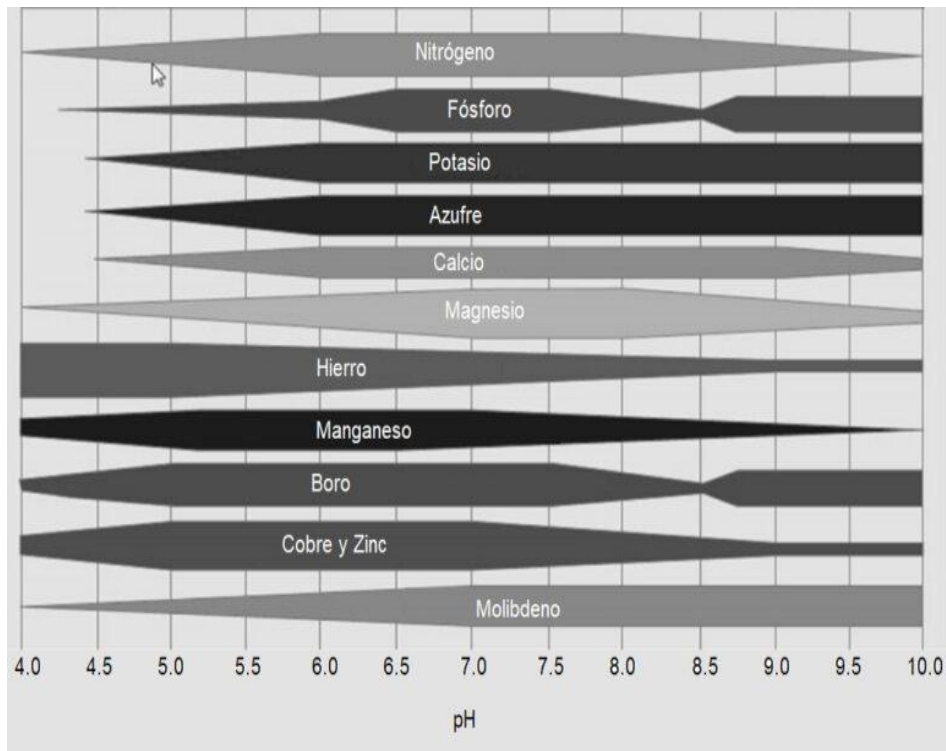
transformación del nitrógeno y del azufre. Asimismo, la disponibilidad de fósforo disminuye, dado que este elemento se combina con el hierro y el aluminio para formar compuestos insolubles, lo que limita su absorción por las plantas. Por su parte, INTAGRI (s/f) sostiene que la presencia de iones como aluminio (Al^{+3} $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$), hidrógeno (H^+) e hidroxilo (OH^-) desempeña un papel determinante en la solubilidad de diversos nutrientes del suelo entre ellos, fosfatos, sulfatos, molibdatos, hierro, manganeso, cobre y zinc, además de reflejar posibles deficiencias de calcio, magnesio, potasio o sodio disponibles.

La disminución del pH en el suelo repercute de manera negativa en sus propiedades químicas y biológicas, restringiendo así el desarrollo vegetal. A medida que el pH se reduce, disminuye también la disponibilidad de nutrientes esenciales como calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y potasio (K). Esta deficiencia nutricional propicia la acumulación de elementos potencialmente tóxicos, entre ellos el aluminio (Al^{+3}) y el manganeso (Mn^{+2}), los cuales pueden afectar el crecimiento y la salud de las plantas (Calva & Espinosa, 2017).

Según Soriano (2018) en condiciones de elevada acidez, el suelo tiende a acumular iones de hidrógeno y aluminio en el complejo de intercambio catiónico, lo cual limita la capacidad de retención de nutrientes esenciales como calcio, magnesio, sodio y potasio. Estos elementos son fácilmente lixiviados por efecto de la lluvia o del riego. Cuando el pH del suelo desciende por debajo de 5.5, se recomienda incrementarlo hasta aproximadamente 6.5 mediante la incorporación de enmiendas calcáreas, con el fin de optimizar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por otro lado, cuando el suelo es básico, el complejo de intercambio está saturado de calcio, lo que puede dificultar la absorción de otros elementos esenciales, como el hierro. En general, las plantas se desarrollan mejor en condiciones cercanas a la neutralidad, donde los nutrientes están más disponibles y en equilibrio adecuado.

Figura 1.1

Disponibilidad de los nutrientes respecto al pH



Fuente: Fertilización y riego: teoría y mejores prácticas, Sela, 2023. Cropai. (<https://croipaia.com/es/libro-fertilizacion-riego/?key1=ppbnr>)

1.2.3. Las toxicidades del aluminio y manganeso en el suelo

La presencia de altas concentraciones de aluminio, manganeso o hierro en suelos con un pH inferior a 5.5 afecta negativamente a los cultivos debido a la toxicidad de estos elementos. Cuando el pH cae por debajo de 4.0, el exceso de hidrógeno contribuye a un daño aún mayor en las plantas. La toxicidad del aluminio, en particular, limita el desarrollo de las raíces y alterar procesos metabólicos críticos como la replicación del ADN, la respiración radicular, y la absorción, transporte y uso de nutrientes esenciales como calcio, magnesio, fósforo y nitrato. Esta inhibición de procesos clave resulta en un debilitamiento general de las plantas, haciéndolas más vulnerables a enfermedades causadas por patógenos. Un pH equilibrado es crucial para minimizar estos efectos tóxicos y asegurar un crecimiento saludable y una producción óptima en los cultivos (Programa regional de investigación e innovación por cadenas de valor agrícola [PRIICA], 2016).

1.2.4. Corrección de la acidez en el suelo

La acidez del suelo es un problema importante que afecta la productividad de los cultivos. Su corrección requiere un manejo adecuado que considere las causas específicas y aplique las enmiendas correctivas necesarias. En tal sentido para corregir la acidez del suelo la FAO (2023), recomienda las siguientes estrategias:

- a. Aplicación de enmiendas calizas como caliza dolomítica o calcítica para elevar el pH.** Es importante realizar pruebas de suelo previas para determinar el nivel de acidez y calcular la cantidad necesaria.
- b. Incorporación de materia orgánica mediante compost, estiércol u otros materiales.** Esto no solo mejora la estructura, sino que también ayuda a regular el pH.
- c. Implementar la rotación de los cultivos.** Una buena idea es introducir cultivos de leguminosas en tu rotación, ya que pueden fijar nitrógeno en el suelo y contribuir al equilibrio de pH.
- d. Uso de materiales ricos en calcio como yeso agrícola (sulfato de calcio).** Esto aporta Ca, disminuye la actividad del Al y favorece el crecimiento radicular.
- e. Mantener un nivel freático elevado en suelos ácidos sulfatados.** Esto para limitar la oxidación de pirita y la formación de acidez.

1.3. Encalado

El encalado en suelos ácidos es una práctica agrícola que consiste en la aplicación de materiales alcalinizantes, principalmente compuestos de calcio y magnesio, con el objetivo de reducir la acidez del suelo y mejorar sus propiedades agronómicas. Esta práctica es esencial para promover un crecimiento óptimo de las plantas y mejorar la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2024).

Es considerada como una técnica más eficiente para enmendar los problemas de acidez en suelos con pH bajo. Esta práctica agrícola es fundamental para neutralizar la acidez en suelos ácidos, ya que agrega cal al suelo, elevando su pH y mejorando las condiciones para el crecimiento de las plantas. Al neutralizar la acidez, el encalado facilita la disponibilidad de nutrientes esenciales y reduce la toxicidad de elementos como el aluminio, promoviendo así un desarrollo más saludable de los cultivos (Castro & Munevar, 2013).

El encalado constituye una práctica agronómica orientada a la aplicación de compuestos de naturaleza básica con el propósito de neutralizar la acidez generada por la presencia de iones de aluminio (Al^{+3}) e hidrógeno (H^+) en el suelo. En este contexto, la decisión de realizar el encalado debe considerar el tipo de enmienda a emplear, así como la época, la dosis y el método de aplicación más adecuados. Esta técnica favorece el desarrollo vegetal al disminuir la toxicidad de elementos como el aluminio (Al) y el manganeso (Mn), además de incrementar la disponibilidad de nutrientes esenciales tales como calcio (Ca), nitrógeno (N), fósforo (P) y molibdeno (Mo). En consecuencia, contribuye a mejorar la calidad del suelo y a optimizar el rendimiento de los cultivos (Calva & Espinoza, 2017).

De la misma forma Espinosa y Molina (2015), mencionan que el encalado implica la aplicación de sales básicas al suelo para neutralizar su acidez. Los materiales utilizados como alcalinizantes incluyen carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a sus diferentes propiedades químicas, estos materiales varían en su capacidad para neutralizar la acidez, lo que influye en su efectividad en el proceso de encalado.

De acuerdo con Campillo y Sadzawka (2010), el encalado se define como la incorporación al suelo de compuestos que contienen calcio o magnesio, los cuales tienen la capacidad de disminuir la acidez e incrementar el valor del pH. Si bien, en sentido estricto, la cal corresponde al óxido de calcio, este término se emplea también para referirse a otros materiales encalantes, tales como hidróxidos, carbonatos y silicatos de calcio y magnesio. El propósito principal de las enmiendas calcáreas es reemplazar el aluminio o manganeso intercambiable presente en la fase sólida del suelo y neutralizar los iones Al^{+3} libres en la solución del mismo.

Castro y Munevar (2013), mencionan que el encalado es una estrategia clave en la gestión de suelos ácidos, especialmente en regiones tropicales donde la acidez puede ser un problema significativo. Un análisis de suelo previo es esencial para determinar el grado de acidez y la dosis adecuada de encalado, lo que permitirá maximizar los beneficios de esta práctica agrícola.

1.3.1. Época y método de aplicación de la cal

La época adecuada para aplicar dolomita depende de varios factores, incluyendo el tipo de cultivo y las condiciones climáticas. Es importante considerar estos aspectos para asegurar que la dolomita se integre adecuadamente al suelo, logrando una corrección efectiva de la acidez y optimizando su disponibilidad para el cultivo en el momento adecuado.

- a. **Antes de la siembra.** Se recomienda aplicar la dolomita al menos 30 días antes de la siembra o trasplante. Esto permite que la dolomita reaccione con el suelo, elevando el pH y mejorando la estructura del mismo (Blade, 2020).
- b. **Durante el otoño o primavera.** En muchas regiones, el otoño y la primavera son considerados momentos óptimos para la aplicación de dolomita. Esto se debe a que las lluvias de primavera pueden ayudar a disolver y distribuir la dolomita en el suelo (Blade, 2020).
- c. **En suelos con pH críticamente bajo.** Si el pH del suelo es muy bajo (entre 3.5 - 4.2), se pueden aplicar dosis más altas de dolomita, mientras que en suelos con un pH más alto (4.3 a 5.3), se recomienda aplicar cantidades menores (Blade, 2020).

La aplicación de dolomita en suelos ácidos es un proceso crucial para mejorar las condiciones del suelo y promover el crecimiento saludable de las plantas. A continuación, se describen los métodos recomendados para su correcta aplicación.

- a. **Aplicación al voleo.** Este método consiste en esparcir la dolomita de manera uniforme sobre la superficie del suelo. Es importante asegurarse de que la distribución sea homogénea para evitar áreas con diferentes niveles de pH (Carvajal & Gómez, 2016).
- b. **Incorporación al suelo.** Después de aplicar la dolomita al voleo, se recomienda incorporarla al suelo mediante arado o labranza. Esto ayuda a mezclar la dolomita con el suelo, facilitando su reacción y efectividad en la modificación del pH (Carvajal & Gómez, 2016).
- c. **Aplicación en el momento adecuado.** La dolomita debe aplicarse al menos 30 días antes de la siembra o trasplante de cultivos. Esto permite que el material tenga tiempo suficiente para reaccionar con el suelo y mejorar sus propiedades (Carvajal & Gómez, 2016).
- d. **Dosis recomendada.** Generalmente, se sugiere una aplicación mínima de 2 toneladas de dolomita por hectárea, aunque la dosis exacta puede variar según el pH del suelo. Por ejemplo, en suelos con pH entre 3.5 y 4.2, se pueden aplicar entre 2 y 5 t ha⁻¹ (Carvajal & Gómez, 2016).
- e. **Análisis de suelo.** Es recomendable realizar un análisis de suelo previo para determinar el pH y ajustar la dosis de dolomita según las necesidades específicas del terreno. Esto asegura una aplicación más efectiva y evita el uso excesivo de enmiendas.

Como se mencionó anteriormente, la cal tiene una movilidad limitada en el suelo, ya que el ion CO_3^{2-} se convierte en CO_2 tras las reacciones de hidrólisis. Por ello, los beneficios de la cal se manifiestan principalmente en la zona donde se aplica. Para que la cal sea eficaz, es crucial mezclar completamente el material en los primeros 15-20 cm del suelo, utilizando arados, rastras u otros implementos. Esta mezcla asegura que la cal se integre en la capa del suelo donde se encuentran las raíces activas de la mayoría de los cultivos. Las aplicaciones de cal que se incorporan al suelo son más eficientes, especialmente en suelos de textura media a pesada, ya que garantizan una distribución más uniforme del material y una mejora efectiva en la acidez del suelo (Espinosa & Molina, 2015).

Los materiales utilizados para el encalado incluyen cal agrícola, dolomita y escorias siderúrgicas. La selección del material adecuado depende de las características químicas del suelo y su costo de producción. Es crucial aplicar el encalado en el momento adecuado, ya que su efectividad está influenciada por factores como la humedad del suelo y el tipo de cultivo a sembrar. Generalmente, se recomienda aplicar el encalado varios meses antes de la siembra para permitir que el material reaccione adecuadamente con el suelo (INIA, 2024).

1.3.2. Reacción de la cal en el suelo

La reacción de la cal en el suelo es fundamental para la mejora de sus propiedades físicas y químicas, especialmente en suelos ácidos. A continuación, se describen los principales efectos de la cal al ser aplicada en el suelo:

- a. Neutralización de la acidez.** La cal, principalmente en forma de carbonato de calcio (CaCO_3), se utiliza para elevar el pH del suelo. Al aplicarla, el calcio desplazará el hidrógeno y el aluminio de los coloides del suelo, que son responsables de la acidez. Este proceso convierte los compuestos ácidos en formas menos dañinas para las plantas, mejorando así la fertilidad del suelo (Cruz & Macal, 2018).
- b. Secado del suelo.** La cal viva (óxido de calcio) tiene un efecto deshidratante. Al mezclarse con suelos húmedos, absorbe agua mediante una reacción exotérmica, lo que reduce drásticamente la humedad del suelo. Esto es especialmente útil en suelos arcillosos, donde la humedad excesiva puede dificultar el trabajo agrícola (Cruz & Macal, 2018).
- c. Mejora de la estructura del suelo.** La adición de cal modifica la distribución de cargas en las partículas del suelo, facilitando la agregación y reduciendo la plasticidad de

suelos arcillosos. Esto resulta en un suelo más estructurado, que es más fácil de manejar y que permite una mejor aireación y penetración de las raíces (Cruz & Macal, 2018).

- d. Aumento de la disponibilidad de nutrientes.** El encalado mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales, como el fósforo. Un pH adecuado permite que los nutrientes sean más accesibles para las plantas, lo que promueve un crecimiento más saludable y vigoroso (Cruz & Macal, 2018).
- e. Beneficios biológicos.** La cal también crea un ambiente favorable para microorganismos beneficiosos en el suelo, lo que contribuye a un ecosistema más saludable. Esto incluye la actividad de lombrices y otros organismos que mejoran la estructura del suelo y su fertilidad (Cruz & Macal, 2018).
- f. Control de plagas y enfermedades.** Gracias a sus propiedades fungicidas, la cal puede ayudar a controlar plagas de hongos en suelos ácidos, contribuyendo a la salud general de los cultivos (Cruz & Macal, 2018).

Los procesos de reacción de los materiales encalantes permiten neutralizar los iones de hidrógeno (H^+) presentes en la solución del suelo a través de los iones hidroxilo (OH^-) liberados cuando la cal entra en contacto con la humedad del suelo. Por ello, la eficacia del encalado depende directamente del contenido de agua en el sustrato. Los óxidos reaccionan con rapidez al hidratarse, convirtiéndose en hidróxidos capaces de contrarrestar la acidez por medio de sus iones OH^- , considerados bases fuertes, lo que les confiere una mayor efectividad en el corto plazo. En cambio, los materiales compuestos por carbonatos y silicatos actúan sobre la acidez del suelo mediante procesos de hidrólisis de los iones CO_3^{2-} y SiO_3^{2-} , que son bases más débiles. Aunque los óxidos e hidróxidos son más eficaces, su manejo puede ser complicado, lo que lleva a que los carbonatos sean los materiales de encalado más utilizados en la agricultura. Esto se debe a su facilidad de aplicación y manejo, a pesar de que tienen una capacidad de neutralización a largo plazo menos inmediata en comparación con los óxidos e hidróxidos (Espinosa & Molina, 2015).

1.3.3. Material encalante

La elección del material encalante dependerá de factores como pureza, forma química, tamaño de partícula y poder relativo de neutralización total (PRNT). Se recomienda aplicar la dosis ajustada según el PRNT del material, al menos 20 días antes de la siembra, preferiblemente en otoño o invierno (Castro & Munevar, 2013).

La aplicación de materiales encalantes tiene efectos beneficiosos en los suelos, ya que mejora su estructura, composición y pH. Específicamente, el calcio reemplaza a los iones de aluminio (Al^{+3}) e hidrógeno (H^+) en los sitios de intercambio, lo que permite la liberación y disponibilidad de nutrientes que estaban retenidos en el suelo. Este proceso promueve un desarrollo y crecimiento óptimos de las plantas al garantizar un suministro adecuado de nutrientes esenciales, mejorando así la salud del suelo y la eficiencia en la absorción de elementos necesarios para un crecimiento vigoroso (Arias, 2019).

Según Espinosa y Molina (2015, como se citó en Villamagua et al., 2021), una opción viable para contrarrestar la acidez del suelo es la utilización de materiales con efecto alcalinizante. Entre estos métodos, el encalado se reconoce como la práctica más efectiva para regular la acidez en suelos con valores bajos de pH. Esta técnica agronómica consiste en la aplicación de compuestos básicos que neutralizan la acidez generada por la presencia de iones de aluminio (Al^{+3}) e hidrógeno (H^+), contribuyendo así a mejorar las condiciones del suelo y favorecer el desarrollo adecuado de las plantas.

1.4. Dolomita

La cal dolomita es un insumo valioso en la agricultura, ofreciendo múltiples beneficios que van desde la corrección de la acidez del suelo hasta el aporte de nutrientes y la mejora de la salud del ecosistema del suelo. Su uso adecuado puede resultar en cultivos más saludables y productivos (Vermiduro, 2024).

El carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) se denomina dolomita. El material puro contiene 21.6% de Ca y 13.1% de Mg. Aunque la dolomita reacciona más lentamente en el suelo en comparación con la calcita, tiene la ventaja de suministrar magnesio (Mg), un elemento que a menudo es deficiente en suelos ácidos.

El carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) es conocido como dolomita. En su forma pura, este material contiene aproximadamente 21.6 % de calcio (Ca) y 13.1 % de magnesio (Mg). Aunque su velocidad de reacción en el suelo es menor en comparación con la calcita, presenta la ventaja de aportar magnesio, un nutriente que suele encontrarse en concentraciones limitadas en los suelos ácidos (Espinosa & Molina, 2015).

Según Blade (2020), la dolomita constituye una enmienda eficiente para la corrección de la acidez del suelo, gracias a su elevado contenido de calcio y magnesio, elementos esenciales para mejorar las propiedades químicas del mismo. Estos minerales no solo neutralizan el aluminio tóxico, sino que también elevan el pH del suelo a niveles óptimos para el crecimiento de los cultivos. Al mejorar el equilibrio de nutrientes y reducir la toxicidad, la cal dolomita crea un ambiente más óptimo para el desarrollo saludable de las plantas y consecuentemente la maximización de su rendimiento. Debido a su elevado contenido de calcio y magnesio, este material permite neutralizar el aluminio tóxico presente en el suelo y elevar el pH hasta niveles adecuados para el desarrollo del cultivo. La dolomita consiste en un doble carbonato de calcio y magnesio. Su composición química es de 35% de calcio total (CaO) y 16% de magnesio total (MgO). Se considera que una cal es dolomítica si al menos el 15% es de MgO.

1.4.1. Propiedades físicas y químicas

Tabla 1.1

Propiedades físicas y químicas de la dolomita

Propiedades físicas y químicas	
Aspecto	Polvo
Color	Blanco/beige
Olor	Intensidad media
Ignación	Incombustible
Inflamabilidad	No inflamable
Explosividad	No explosivo
Humedad	0.40%
PH 10%	9.7 pH
Granulometría	Malla 100 - con un retenido de tamiz < 8%
Tamaño de partícula	150 (micras)

Nota. Reproducido de *Dolomita (Mineral): Qué es, formación, propiedades y usos*, por Domenech, 2023. (<https://dimateria.com/minerales/dolomita>).

1.4.2. Modo de aplicación de la cal dolomita

La dolomita se presenta comúnmente en sacos y se recomienda su uso basado en análisis de suelo realizados por agrónomos. La cantidad a aplicar puede variar, pero se sugiere una dosis de aproximadamente 1 kg por metro cuadrado, dependiendo de la acidez del suelo y los requerimientos específicos de los cultivos (Vermiduro, 2024).

Es aconsejable que la dosis precisa de dolomita sea establecida por un ingeniero agrónomo, en función de las características específicas del suelo. No obstante, de manera general, se recomienda aplicar un mínimo de 2 toneladas por hectárea. Esta enmienda debe distribuirse uniformemente al voleo o incorporarse mediante arado, preferentemente con una anticipación de al menos 30 días antes de la siembra o del trasplante del cultivo. Esto permite que la dolomita tenga tiempo para reaccionar, mejorar la estructura del suelo y reducir su acidez de manera efectiva (Blade, 2020).

La dosis depende del análisis de suelo y del nivel de acidez. En tal sentido, Blade (2020), recomienda lo siguiente:

- a.** Generalmente aplicar entre 2 y 5 toneladas por hectárea.
- b.** Para suelos con pH entre 3.5 y 4.2, aplicar 2 a 5 t/ha de dolomita.
- c.** Para pH entre 4.3 y 4.8, aplicar 2 a 4 t/ha.
- d.** Para pH entre 4.9 y 5.3, aplicar 2 a 3 t/ha.

1.4.3. Beneficios de la cal dolomita

Según Espinosa y molina (2015), los beneficios de aplicación de la dolomita son los siguientes:

- a.** Reduce la toxicidad generada por aluminio, hierro y manganeso.
- b.** Aumenta la disponibilidad del fósforo.
- c.** Aumenta el contenido de calcio y magnesio.
- d.** Mejora el proceso de nitrificación y mineralización de la materia orgánica.
- e.** Mejora la estructura del suelo, especialmente en suelos arcillosos.
- f.** Aumenta la disponibilidad de Calcio y Magnesio para las plantas.
- g.** Estimula la actividad de los microorganismos benéficos del suelo.
- h.** Aumenta el ritmo de mineralización de la materia orgánica, con el consiguiente aumento de la disponibilidad de nitrógeno.

Además de corregir la acidez, la aplicación de dolomita ofrece los siguientes beneficios adicionales:

- a. Corrección de la acidez del suelo.** La dolomita eleva y corrige el pH en suelos ácidos, lo que mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, como nitrógeno y fósforo.
- b. Aporte de nutrientes.** Proporciona calcio y magnesio, elementos esenciales para la formación de clorofila y el metabolismo de las plantas. El calcio es fundamental para la estructura celular, mientras que el magnesio es un componente central de la clorofila, mejorando así la fotosíntesis y el desarrollo de las plantas (Vermiduro, 2024).
- c. Mejora de la estructura del suelo.** Al favorecer la formación de agregados más estables mejora la estructura del suelo, lo que a su vez mejora la aireación y la retención de humedad (Vermiduro, 2024).
- d. Reducción de elementos tóxicos.** Su incorporación al suelo puede reducir las concentraciones de metales pesados y de otros elementos potencialmente tóxicos (Vermiduro, 2024).
- e. Compatibilidad con la agricultura ecológica.** La dolomita es un enmendador natural que se puede utilizar en prácticas agrícolas sostenibles, lo que la hace ideal para la agricultura ecológica (Vermiduro, 2024).

1.5. Biochar

El biochar, también denominado biocarbón, es un material de textura fina obtenido mediante el pirólisis de biomasa y de residuos orgánicos biodegradables. Este producto se caracteriza por poseer un elevado contenido de carbono orgánico y una baja susceptibilidad a la degradación en el suelo (Saletnik et al., 2019, como se citó en Quiñonez et al., 2021). Por otra parte, el biochar es una enmienda orgánica que mejora la calidad del suelo y favorece el desarrollo de cultivos. Asimismo, constituye una alternativa sostenible que contribuye a incrementar la productividad agrícola, fortalecer la seguridad alimentaria y mitigar los efectos del cambio climático (Pentón et al., 2021).

1.5.1. Origen y características del biochar

Los antecedentes del uso del biocarbón como enmienda orgánica se remontan a la época precolombina en la región amazónica del Brasil. Es conocido como Terra Preta (suelo negro), y es una práctica realizada por las tribus indígenas de la Amazonia desde hace miles de años. Se obtiene a partir de los residuos forestales y agrícolas fibrosos y puede contener hasta 70 % de carbón. El biocarbón se obtiene por pirólisis de biomasa en condiciones limitadas de oxígeno y a temperaturas menores de 700 °C, destinándose principalmente a fines agrícolas, a diferencia del biocarbón usado como combustible o activado. (García et al., 2021)

El biocarbón es un material carbonoso de color negro, con una estructura interna irregular que depende del tipo y duración del proceso de pirólisis. En términos generales, presenta una naturaleza amorfa (Qiu et al., 2008 como se citó en Escalante et al., 2016). El biocarbón está constituido por partículas de diferentes tamaños, lo que depende de la fuente y tamaño de la materia prima (Lehmann, 2007). Los microporos son generados en el proceso de pirólisis, por lo que al aumentar la temperatura aumenta la microporosidad, además generan más área de carga reactiva (Escalante et al., 2016).

La temperatura de pirólisis influye en las propiedades del biochar; al incrementarse, aumenta la formación de microporos, mejorando así su capacidad para infiltrar, retener agua y almacenar nutrientes esenciales. (Lehmann & Joseph, 2020 como se citó en Penton et al., 2021).

1.5.2. Biochar y sus aplicaciones ambientales

En la actualidad, el biocarbón tiene múltiples aplicaciones gracias a su estructura porosa y propiedades químicas. Es empleado en el tratamiento de aguas residuales, actuando como filtro para retener metales pesados y contaminantes químicos. Asimismo, se utiliza en sistemas industriales, como chimeneas, para disminuir la emisión de gases contaminantes y contribuir a la protección ambiental (Quiñonez et al., 2021).

En la ganadería, el biocarbón se emplea en las camas de los animales y en el manejo de estiércoles, contribuyendo a reducir los malos olores, mejorar las condiciones sanitarias y facilitar el tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la producción pecuaria. (Schmidt & Wilson, 2014).

Liang et al. (2006) destacan que el uso del biochar para la mejora del suelo y su aplicación en los cultivos ha despertado gran interés en las últimas décadas. En la agricultura, su potencial radica en el incremento de la disponibilidad de nutrientes, asociado a una mayor capacidad de intercambio catiónico y porosidad del suelo, lo que mejora el hábitat microbiano, estimula la actividad biológica y aumenta la retención de agua disponible para las plantas, favoreciendo su desarrollo.

El biochar empleado como enmienda del suelo alcanza su mejor calidad cuando se obtiene mediante pirólisis lenta a temperaturas entre 550 °C y 700 °C. En Cuba, su aplicación ha mostrado resultados positivos en cultivos agrícolas y viveros, mejorando la conductividad eléctrica, el pH y el potencial redox del suelo (Pentón et al., 2021).

1.5.3. Activación del biochar

La activación del biochar es un proceso previo a su incorporación en el suelo que consiste en cargarlo con nutrientes y microorganismos beneficiosos para maximizar sus efectos positivos en la fertilidad y salud del suelo. Este paso es fundamental para transformar el biochar en un "oro negro" que mejora la estructura del suelo, la retención de agua, la aireación, y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Borras, 2021).

El biochar puede enriquecerse de múltiples maneras; a continuación, se detallan métodos comúnmente utilizados para este propósito específico:

- a. Inoculación con microorganismos y nutrientes:** Se puede activar el biochar mezclándolo con materiales ricos en microorganismos y nutrientes como suero de leche, estiércol fresco, purines, compost o humus. Esto permite que el biochar se "cargue" con vida microbiana que luego beneficiará al suelo (Vermiduro, 2024).
- b. Activación casera con ingredientes domésticos:** También es posible activar biochar con ingredientes que se tienen en casa, como harina, patata o arroz, que ayudan a fomentar la colonización microbiana y la incorporación de nutrientes (Borras, 2021).
- c. Uso de activadores comerciales:** Existen productos específicos llamados activadores de biochar que se mezclan con el biochar y agua para potenciar su efecto. Estos activadores mejoran la fertilidad, regulan el pH, aumentan la retención hídrica y activan las defensas naturales de las plantas (Dvorackoya et al., 2021).

- d. Incorporación en procesos biológicos:** Otra forma de activación es incluir el biochar en procesos biológicos como el compostaje o la alimentación de animales (por ejemplo, pollos), cuyos excrementos luego distribuyen el biochar activado en el suelo, enriquecido con microorganismos y nutrientes (Vermiduro, 2024).

Según Dvorackoya et al. (2021) la activación del biochar es un paso clave para que este material cumpla su función de corregir la salud del suelo y el crecimiento de las plantas, además puede realizarse mediante métodos caseros, biológicos o con productos comerciales específicos. A continuación, se muestran los beneficios de activación del biochar:

- a.** Mejora la fertilidad y estructura del suelo.
- b.** Aumenta la retención de agua y la aireación.
- c.** Regula el pH en suelos ácidos.
- d.** Potencia la actividad microbiana beneficiosa.
- e.** Reduce la lixiviación de nutrientes.
- f.** Activa las defensas naturales de las plantas.
- g.** Contribuye al secuestro de carbono atmosférico.

1.6. Cultivo de café

1.6.1. Origen del café

El origen del café se remonta a Etiopía, en el noreste de África, específicamente en la región de Kaffa, de donde proviene su nombre. Según la tradición, su descubrimiento se atribuye a un pastor llamado Kaldi, quien observó que sus cabras se volvían más activas después de comer los frutos rojos de un arbusto desconocido (Quiñonez et al., 2021).

A partir de Etiopía, el café se difundió hacia Yemen, donde se cultivó por primera vez de forma organizada en el siglo XV. En la ciudad portuaria de Moca el café comenzó a comercializarse hacia Arabia, Egipto y el resto del mundo islámico. Desde allí, su consumo se extendió al Imperio Otomano, luego a Europa en el siglo XVII, y posteriormente a América Latina, donde encontró condiciones ideales para su cultivo (Quiñonez et al., 2021).

1.6.2. Clasificación taxonómica

Sotomayor & Duicela, (1993, como se citó en Armijos, 2020), indican la siguiente clasificación:

Reino	: Vegetal
División	: Magnoliophyta
Clase	: Dicotyledoneae
Subclase	: Asteridae
Orden	: Rubiales
Familia	: Rubiaceae
Género	: Coffea
Especie	: <i>Arábica, Canephora, Liberica</i> L.

1.6.3. Descripción morfológica del café

Raíz

Según Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA, 2019) el sistema radicular del café es mayormente superficial, con aproximadamente el 60 % de sus raíces concentradas en los primeros 30 cm del suelo, aunque la raíz pivotante puede superar un metro de profundidad. Este sistema se forma desde la germinación, cuando la radícula da origen a la raíz principal.

Tallo

Monroig (2001, como se citó en Armijos, 2020), afirma que el café posee un tallo leñoso y erecto, cuya longitud varía según la variedad. Presenta dos tipos de crecimiento: uno vertical u ortotrópico y otro horizontal o lateral. Generalmente, la planta cuenta con un solo tallo provisto de nudos y entrenudos, de los cuales, en los primeros tres o cuatro, solo emergen hojas. En cada nudo se desarrollan dos axilas foliares opuestas que originan de cuatro a cinco yemas seriadas. La primera yema genera brotes horizontales, mientras que la segunda produce brotes verticales, definiendo la arquitectura característica de la planta de café.

Rama

La formación de las ramas marca el inicio del desarrollo del cafeto. En el quinto nudo del tallo aparece la primera rama lateral, originada de yemas ubicadas en las axilas de las hojas del tallo principal. Estas ramas laterales primarias se alargan progresivamente conforme madura el eje central. Las ramas primarias, de crecimiento plagiotrópico, generan ramas secundarias y terciarias, las cuales suelen producir yemas vegetativas que contribuyen al desarrollo estructural de la planta (IICA, 2019).

Hoja

Sotomayor y Duicela (1993, como se citó en Armijos, 2020), señalan que las hojas del cafeto presentan una lámina foliar de 12 a 14 cm de largo y de 5 a 12 cm de ancho, con forma que varía de ovalada a lanceolada según la variedad, pudiendo cambiar su tamaño por la exposición solar. Estas hojas combinan gas carbónico, luz solar y agua del suelo para producir azúcares que se distribuyen por toda la planta.

Flor

Por su parte IICA (2019), afirma que la flor del cafeto está compuesta por una corola de cinco lóbulos, un cáliz, cinco estambres y un pistilo. En la base de la corola se localiza el ovario, donde se forman dos óvulos que, tras la fecundación, originan dos semillas de café. La flor se une a la inflorescencia por medio del pedicelo, mientras que los estambres, con filamentos cortos, se insertan entre los lóbulos y poseen anteras con cuatro sacos polínicos. Las flores se abren por la mañana y permanecen así de 2 a 3 días; luego de la fertilización, las anteras se oscurecen y la corola cae, dejando expuesto el ovario que inicia la formación del fruto.

Fruto

El fruto del cafeto es una drupa de superficie lisa y brillante, con pulpa delgada que se desprende fácilmente del pergamino. Al madurar, los frutos presentan color rojo o amarillo y contienen dos semillas, aunque en ocasiones solo uno de los óvulos se desarrolla, formando el denominado café caracol. La cereza de café se compone de pulpa y pergamino: la pulpa incluye el epicarpio o cáscara y el mesocarpio o mucílago. El pergamino está formado por el endocarpio o película plateada y el café verde (Figuroa et al., s/f).

Semilla

La semilla de café presenta cotiledones foliáceos de color plomo opaco que contienen el embrión y tienen forma ovada y alargada. Está protegida por una doble envoltura rica en proteínas, representando entre el 35 y 38 % del fruto. La semilla está constituida por el endocarpio o pergamino, la película plateada o perisperma, y el endospermo que incluye cotiledones y embrión. El endospermo contiene diversos compuestos bioactivos, entre los que destacan cafeína, proteínas, aceites, azúcares, dextrinas, celulosa, hemicelulosa, ácido clorogénico y minerales esenciales para la planta (Gómez, 2010 como se citó en Armijos, 2020).

1.6.4. Condiciones edafoclimáticas

Temperatura

Según Instituto del café de Costa Rica (ICAFFE, 2011) la temperatura anual promedio óptima para el cafeto se encuentra entre 18 y 23 °C. Valores inferiores a 10 °C pueden causar clorosis y detener el crecimiento de las hojas jóvenes. Si las temperaturas descienden por debajo de 16 °C, los brotes pueden dañarse, mientras que al superar los 27 °C la planta corre riesgo de deshidratación, lo que reduce su capacidad fotosintética.

Precipitación

La precipitación óptima para el cafeto oscila entre 1500 y 2500 mm anuales. Si el régimen de lluvias excede este rango o se concentra en períodos prolongados, la producción se reduce. Por el contrario, una precipitación inferior limita el crecimiento de las plantas y provoca efectos negativos como desequilibrios en la floración y un aumento en la incidencia de plagas y enfermedades (Pozo & Zabala, 2014 como se citó en Armijos, 2020).

Humedad relativa

Según Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (2019), el rango óptimo de humedad relativa para el cafeto se encuentra entre 70 y 85 %. Sin embargo, períodos prolongados de alta humedad favorecen el desarrollo de plagas y enfermedades, afectando negativamente la sanidad y productividad de la planta.

Altitud

La altitud influye directamente en los factores de temperatura y precipitación. El rango óptimo para el cultivo del café se sitúa entre 500 y 1,700 msnm, ya que por encima de estos niveles se presentan importantes limitaciones para el desarrollo de la planta (ICAFFE, 2011). Según Figueroa et al. (2015, como se citó en Armijos, 2020), establecer plantaciones a altitudes menores reduce la calidad del grano, mientras que sembrar por encima del rango recomendado afecta negativamente el crecimiento de las plantas.

Viento

Los vientos fuertes provocan desecación y daño mecánico en los tejidos vegetales, además de incrementar la incidencia de enfermedades. Por ello, es recomendable seleccionar terrenos resguardados del viento o implementar barreras cortavientos que reduzcan su impacto sobre las plantas (ICAFFE, 2011).

Luminosidad

El cafeto es una planta de días cortos, lo que implica que florece cuando la duración de la noche supera a la del día. Además del fotoperiodo, la intensidad de la radiación solar constituye un factor luminoso clave, considerado un elemento climático acumulativo, ya que interactúa con la biomasa foliar disponible y determina la productividad potencial del cultivo. Para un desarrollo adecuado, el cafeto requiere un brillo solar óptimo de 4 a 7 horas de luz al día (ICAFFE, 2011).

Suelo

Palma et al. (2019, como se citó en Armijos, 2020), mencionan que para un cultivo óptimo del café, el suelo debe contar aproximadamente con un 50 % de aire y agua, distribuido en espacios porosos, y un 50 % restante compuesto por sólidos y materia orgánica. Asimismo, se requiere un suelo de profundidad media con un balance adecuado de nutrientes esenciales, incluyendo nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cloro (Cl), sodio (Na) y boro (B).

pH

El rango de pH ideal para el cultivo del café se sitúa entre 5.0 y 5.5. Valores por debajo de 5 generan alta toxicidad de macro y micronutrientes en el suelo. Para corregir estos desequilibrios, es recomendable contar con asesoría técnica que garantice la aplicación adecuada de las enmiendas correspondientes (Bustamante et al., 2013 como se citó en Armijos, 2020).

1.6.5. Especies botánicas del café

Las especies de café de mayor relevancia económica son *Coffea arabica* L., que representa más del 60 % de la producción mundial, y *Coffea canephora*. Otras especies, como *Coffea liberica* y *Coffea excelsa*, se cultivan en menor escala y tienen una participación limitada en el mercado global (Organization International Coffee [ICO], 2022).

***Coffea arabica* L.** Fue descrito por primera vez por Linneo, y entre sus variedades más conocidas se encuentran “Typica” y “Borbón”. A partir de estas, se han desarrollado numerosas cepas y cultivares mediante mutaciones naturales o cruzamientos espontáneos e inducidos, incluyendo Caturra, Mundo Novo, Catuai, Pache, Villa Sarchí, Pacas, Tico, San Ramón Enano y Jamaican Blue Mountain, entre otros (ICO, 2022).

***Coffea canephora*.** Conocido como café “Robusta”, es una especie ampliamente cultivada. Se trata de un arbusto que puede alcanzar hasta 10 metros de altura y posee raíces superficiales. Su fruto es redondeado y requiere hasta 11 meses para madurar, mientras que la semilla es más pequeña y alargada que la de *C. arabica*. Esta especie se cultiva principalmente en África Central y Occidental, el sudeste asiático y, en menor medida, en Brasil, donde recibe el nombre de Conillón (ICO, 2022).

1.6.6. Variedades del café arábica

Según ICO (2022), la producción de *Coffea arabica* se ha incrementado mediante mutaciones espontáneas que mostraban rasgos deseables, así como por su utilización en programas de fertilización cruzada. A continuación, se presentan algunas de las principales variedades, mutaciones, híbridos y cultivares desarrollados a partir del café arábica.

a. Variedad Típica

Esta variedad, originaria de los cafetales de Etiopía, fue introducida en América en zonas selváticas y actualmente se cultiva extensamente en Centroamérica, México, Perú y Bolivia. Además, está presente en otras regiones de América Tropical, como Colombia y Ecuador (Estrella, 2014).

b. Variedad Bourbon

La variedad Bourbon, originaria de la isla Reunión (anteriormente denominada Bourbon), incluye dos cultivares: “Bourbon rojo” y “Bourbon amarillo”, denominados según el color de sus cerezas al madurar. El porte de las plantas de Bourbon es similar al de la variedad Typica (Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura [IICA], 2019)

c. Variedad Geisha

Esta variedad, originaria de Etiopía, se caracteriza por un porte alto y frutos de mayor tamaño que los de la variedad Typica. Es reconocida por su amplia adaptabilidad y resistencia a la roya del cafeto. Su principal atributo es la producción de una bebida de excelente calidad, altamente demandada en mercados especializados (IICA, 2019)

d. Variedad Caturra

Esta variedad es un mutante del Bourbon, originario de Brasil. Se distingue por sus entrenudos cortos, porte bajo y tronco grueso, diferenciándose de las líneas comunes de Typica y Bourbon. Los frutos del mutante rojo adquieren un color rojo vinoso al madurar, mientras que los del mutante amarillo presentan tonalidad amarilla (Duicela et al, 2010).

e. Variedad Catimor

El Catimor es un híbrido resultante del cruce entre la variedad Caturra y el híbrido de Timor, caracterizado por su resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix*). Presenta porte bajo, entrenudos cortos y brotes terminales de color bronce rojizo. Sus frutos maduran en tonalidad roja y, además de ser tolerante a la antracnosis de la cereza (*Colletotrichum kahawae*), ofrece alta productividad en granos. Sin embargo, muestra mayor susceptibilidad a la enfermedad ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y su calidad sensorial es generalmente inferior, característica compartida con los Sarchimores (ICO, 2022).

1.6.7. Labores culturales del café

Control de malezas

Para garantizar un adecuado desarrollo de las plantas de café, se recomienda realizar entre dos y tres controles de malezas al año. Durante la etapa inicial del cultivo, el manejo puede realizarse con herramientas manuales como machete o motoguadaña. Como método de control natural, es aconsejable establecer cultivos transitorios como frijol, maní, rocoto, caigua, lechuga, col, col china o perejil durante el primer año, aprovechando las áreas libres y contribuyendo a la reducción y manejo efectivo de las malezas (Ministerio de desarrollo agrario y riego [MIDAGRI], 2022).

Fertilización

Se realiza de acuerdo con un plan de abonamiento, previo a un análisis del suelo y conocimiento de la extracción de nutrientes por el cultivo de café para así reponer los nutrientes extraídos por la planta durante un periodo de crecimiento. Una buena fertilización permite tener plantas sanas, vigorosas y tolerantes a plagas y enfermedades; es así que MIDAGRI (2022), para un cultivo de un año recomienda realizar un abonamiento de 60– 20 – 60 kg/ha de N – P₂O₅ – K₂O, para dos años de edad recomienda 125– 60 – 125 kg/ha de N – P₂O₅ – K₂O y para los cultivos tres años en adelante recomienda aplicar 250 – 80 – 250 kg/ha de N – P₂O₅ – K₂O respectivamente.

Poda

Consiste en el manejo de la estructura de la planta, eliminando los tallos improductivos para fomentar el desarrollo de nuevos tejidos. Asimismo, permite una mejor ventilación e ingreso de luz, favoreciendo el control preventivo de plagas y enfermedades (Desco, 2012).

Manejo integrado de plagas y enfermedades

El manejo de plagas y enfermedades resulta más efectivo cuando se aplican estrategias integradas que actúan de manera coordinada contra los organismos nocivos. Entre los métodos disponibles se incluyen el control biológico, cultural, mecánico, etológico y químico, los cuales pueden combinarse para optimizar la protección del cultivo (Desco, 2012).

Para implementar un manejo integrado de la finca, es fundamental realizar monitoreos constantes que permitan un control oportuno de plagas y enfermedades, ya que estos organismos pueden dañar las plantas, reduciendo la producción, el rendimiento y la calidad del fruto, lo que se traduce en pérdidas económicas (Desco, 2012).

Por otro lado, Desco (2012), afirma que los principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo de café son los siguientes.

- a. **Broca (*Hypothenemus hampei*)**. Se trata de gorgojos que perforan los frutos durante la etapa de grano lechoso, ingresando por el ombligo de la cereza hasta alcanzar la almendra, donde colocan sus huevos. Su presencia se identifica por la maduración prematura de los frutos y porque, al ser depositados en los tanques de recepción, flotan debido a su menor densidad (Desco, 2012).

Para su control Desco (2012) recomienda implementar los siguientes manejos:

- Realizar rebusca, raspa y recojo de granos caídos.
- Limpieza, poda y manejo de sombra del cafetal.
- Instalar trampas utilizando atrayentes a base de 3 cucharas de alcohol etílico y 2 tapitas de esencia de café.
- Aplicar *Beauveria bassiana* 2 a 4 kg/ha.

- b. **Minador de Hoja (*Leucoptera coffeella*)**. Se trata de una polilla que deposita sus huevos en el haz de las hojas; al eclosionar, las larvas consumen el tejido foliar, causando daños a la planta, especialmente durante la temporada seca (Desco, 2012).

Según Desco (2012) para su control es necesario los siguientes:

- Raleo de sombra
- Fertilización balanceada en base a un análisis del suelo
- Aplicar dimetoato a dosis de 40 cc por litro de agua

- c. **Nemátodos (*Meloidogyne sp.*)**. Se presentan como nodulaciones en las raíces, ubicándose en las raíces laterales, el cuello de planta y raíz pivotante. Producen la degradación de la raíz, observándose caída y amarilla miento de hojas (Desco, 2012).

Como medida de control Desco (2012) recomienda realizar los siguientes:

- Utilizar tierra de monte virgen en la etapa de viveros
 - Como medida curativa aplicar quinoleína fenólica en época de floración
- d. Queresa.** Estas plagas afectan las ramas y hojas jóvenes, provocando el debilitamiento de la planta. Pueden atacar tanto en viveros como en plantas adultas, siendo especialmente dañinas durante la temporada seca. Como medida de control aplicar aceite agrícola o alfacipermetrina a una dosis de 10 cc por 20 litros de agua (Desco, 2012).
- e. Ojo de pollo (*Mycena citricolor*).** Ataca hojas, ramas, tallos y frutos del cafeto. En las hojas se observan manchas circulares de color café oscuro que posteriormente se tornan gris blanquecinas. En los frutos, la enfermedad se manifiesta con manchas redondeadas, hundidas, de tonalidad amarilla que evolucionan a pardo. En fases avanzadas puede desarrollar estructuras semejantes a cabezas de fósforo de color amarillo (Desco, 2012).

Como medida de control Desco (2012) recomienda realizar los siguientes:

- Realizar la siembra con distanciamientos adecuados.
 - Evitar sembrar cerca de riachuelos o quebradas.
 - Efectuar la regulación oportuna de sombra y podas sanitarias.
 - Aplicar una fertilización balanceada.
 - Emplear variedades tolerantes a la enfermedad “ojo de gallo”.
 - Aplicar caldo bordelés al 1%.
 - Como medida curativa, aplicar difeconazole a una dosis de 10 cc por cada 20 litros de agua.
- f. Roya (*Hemileia vastatrix*).** Se manifiesta mediante pústulas anaranjadas en el envés de las hojas, provocando su defoliación y debilitamiento general de la planta, lo que reduce la fotosíntesis, el rendimiento y la calidad del grano (Desco,2012).

Para su control Desco (2012) recomienda realizar los siguientes:

- Poda y manejo de sombra
- Uso de variedades resistentes
- Fertilización balanceada
- Aplicación de caldo bórdales
- Como medida curativa aplicar el Bayleton 250 C.

g. Cercospora (*Cercospora coffeicola*). Afecta hojas y frutos en forma de manchas circulares de color marrón rojizo, a medida que crecen la mancha del centro se pone de color gris (Desco, 2012).

Según Desco (2012) su control se basa en los siguientes:

- Manejo adecuado de la sombra.
- Control de malezas oportunos.
- Fertilización balanceada.
- Aplicar difeconazole a dosis de 10 cc por 20 litros de agua

1.6.8. Cosecha y postcosecha del café

Cosecha del café

La cosecha constituye una de las etapas más importantes del cultivo, ya que influye directamente en la calidad final del café. Consiste en recolectar los frutos maduros de la planta, lo cual requiere varias pasadas debido a que el café presenta floraciones escalonadas, ocasionando una maduración progresiva (Cuya, 2013).

Recepción del fruto

Además de controlar la calidad de las cerezas durante la cosecha, es fundamental evitar que ingresen a la despulpadora frutos verdes, agrios o secos, ya que los frutos agrios generan defectos que persisten en el café pergamino y en el café de oro (Cuya, 2013).

Despulpado

El despulpado consiste en separar la pulpa del fruto mediante una máquina llamada despulpadora. Debe realizarse, como máximo, seis horas después de la cosecha para evitar fermentaciones, garantizando así la calidad del grano y evitando daños en el café (Cuya, 2013).

Fermentación

La fermentación es el proceso mediante el cual el mucílago que recubre el pergamino del café se descompone por acción de microorganismos, facilitando su eliminación. Este proceso permite que el mucílago descompuesto se disuelva y sea removido fácilmente durante el lavado, mejorando la calidad del grano (Cuya, 2013).

Lavado

El lavado separa el mucílago descompuesto y deja limpio el pergamino. Un buen lavado, seguido de un secado adecuado, garantiza la calidad del café. Si la fermentación no es la correcta, se pierde peso y se reduce la calidad de la bebida. Este proceso puede realizarse en pozas, canales o lavadoras mecánicas (Cuya, 2013).

Secado

El secado es una fase crucial del beneficio del café, cuyo propósito es reducir la humedad del grano hasta un nivel adecuado para su almacenamiento sin riesgo de daño, mal olor o sabor. Debe iniciarse inmediatamente después del lavado y clasificación, utilizando secado natural al sol o artificial según las condiciones (Cuya, 2013).

Empaque y almacenamiento

El empaque del café debe realizarse en sacos limpios y en buen estado, evitando pérdidas de grano. Se utiliza generalmente unidades de comercialización como arrobas o kilogramos. El peso del café almacenado puede variar con el tiempo, dependiendo de la humedad y la temperatura del almacén o bodega (Cuya, 2013).

1.6.9. Calidad del grano de café

La calidad del café se determina por el grado en que satisface las expectativas del consumidor o comprador, evaluándose mediante características químicas, microbiológicas, físicas y organolépticas. Estas propiedades influyen directamente en la disposición del comprador a pagar un precio superior por el grano, generando mayores ingresos para el productor y toda la cadena de valor (Osorio, 2021).

Actualmente, la calidad del grano de café se centra en las características de los cafés especiales, destacando la calidad física, sensorial y el origen cultural, debido a su alto valor en los mercados orientados a la calidad (Pajuelo & Huerta, 2020).

El café de buena calidad se caracteriza por ser sano e inocuo, con propiedades organolépticas equilibradas y agradables, una composición química natural y libre de contaminantes o adulterantes, garantizando un producto puro, seguro y con excelente sabor para el consumidor (Puerta, 2013).

1.6.9.1. Calidad física del café

Según Puerta (2013), la calidad física del grano de café se determina mediante parámetros evaluados en el café pergamino y en el café oro verde. El grano de buena calidad presenta apariencia homogénea, sana, olor fresco, color verde azulado, humedad entre 10% y 12%, y tamaño según la variedad medido en malla 15. Los granos caracol, aunque más pequeños, pueden tener buena calidad si están sanos.

El proceso de análisis físico del café se evalúa con los siguientes parámetros que a continuación se detallan:

a. Rendimiento físico (%)

El rendimiento es la relación entre la cantidad de café pergamino seco necesaria para obtener una cantidad específica de café verde, siendo un factor clave para determinar la eficiencia productiva y el valor comercial del café (Federación Nacional de Cafeteros [FNC], 2022).

b. El contenido de humedad (%)

El contenido de humedad en el café es un factor determinante en su vida útil, ya que influye en el tiempo de almacenamiento y en la conservación de la calidad del grano. Una humedad superior al 13% favorece el desarrollo de hongos e insectos, mientras que el rango ideal es del 10% al 12% (Osorio, 2021).

c. La densidad (g/L)

La densidad constituye un factor clave durante el proceso de tostado del grano, donde se evalúa la dureza del grano, se calcula dividiendo la masa de café por su volumen, ya que la densidad del café es el peso de un grano entre el volumen del mismo (Perfect Daily Grind, 2021).

d. La actividad de agua (A_w)

La actividad de agua es el parámetro que indica la cantidad de agua disponible en el grano, la cual depende del tipo de producto, su composición química y la temperatura. A mayor contenido de agua, mayor será su actividad. El secado del café busca reducir la humedad al 10–12%, eliminando el agua libre y manteniendo valores de actividad inferiores a 0,62 (Osorio, 2021).

e. Defectos del café

Según Puerta (2013), los defectos del café se originan a lo largo de todo el proceso productivo: desde el cultivo y la formación del grano, hasta la cosecha, poscosecha, beneficiado, almacenamiento y transporte. Estos defectos pueden observarse en la apariencia física y en la calidad de la bebida. Los principales defectos del grano en almendra son: brocado, contaminado, vinagre, mohoso, negro, decolorado y flojo; mientras que en la bebida destacan los sabores fenólico, contaminado, vinagre, terroso, de reposo, ahumado, carbonoso y acre.

El Comité Nacional de Cafeteros de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia estableció dos categorías en los defectos del grano de café en almendra, el primer grupo o defectos primarios son: negros llenos, parciales o secos, vinagres enteros o parciales, reposados amarillos o carmelitas y ámbar o mantequilla, el segundo grupo o defectos secundarios son : flojo, cardenillo, decolorado (veteado y blanqueado), mordido o cortado, picado por insectos, sobre- secados o quemados, partido, malformado o deformado, inmaduro, aplastado, flotador o balsudo, averanado o arrugado (Puerta, 2013).

1.6.9.2. Calidad sensorial u organoléptica del café

El análisis sensorial del café está estrechamente vinculado con la calidad de taza, ya que evalúa los atributos del grano mediante los sentidos de la vista, olfato, tacto y gusto. Los estímulos generados son procesados por el cerebro, donde se perciben y asocian las impresiones sensoriales para emitir un juicio sobre la calidad del producto. Este análisis es realizado por jueces entrenados y certificados, quienes conocen los distintos atributos a evaluar y aplican una escala de valoración estandarizada para determinar la calidad del café (Osorio, 2021)

De acuerdo con Specialty Coffee Association (2019), la escala de evaluación utilizada en el formato de catación permite medir, identificar, cuantificar y describir las características del café, determinando así su calidad mediante un puntaje específico (0 – 10) para cada atributo evaluado.

Según las Norma Técnica Peruana (2019), los atributos sensoriales a tener en cuenta son los siguientes:

- a) **Fragancia/aroma:** La fragancia corresponde al olor percibido en el café tostado y molido en seco, mientras que el aroma describe las características volátiles que se perciben cuando el café está en infusión o mezclado con agua.
- b) **Sabor:** Es la propiedad sensorial que integra todas las sensaciones gustativas y olfativas percibidas durante la catación, incluyendo los aromas retronasales que se transmiten desde la boca hacia la nariz.
- c) **Acidez:** Es una propiedad sensorial del grano que representa la impresión gustativa generada por la presencia de ácidos orgánicos, como el cítrico, málico y tartárico, que influyen en el sabor del café.
- d) **Cuerpo:** Es la propiedad sensorial que refleja la intensidad del sabor y la sensación de peso o textura que el café produce en la boca al ser degustado.
- e) **Sabor residual/posgusto:** Es el atributo que mide la duración del sabor en el paladar después de ingerir el café. Puede ser agradable, con notas dulces y refrescantes, o desagradable, con sensaciones amargas o ásperas.
- f) **Balance o equilibrio:** Es la armonía entre los diferentes atributos del café, como la acidez, el cuerpo y el sabor, los cuales se complementan entre sí para generar una sensación equilibrada en la taza.
- g) **Dulzura:** Es la sensación agradable que se percibe al degustar el café, originada por los azúcares naturales presentes en el grano, los cuales aportan suavidad y equilibrio al sabor.
- h) **Uniformidad:** Es la consistencia que presentan las diferentes tazas de una misma muestra de café. Evalúa si mantienen los mismos atributos, características o defectos. El catador determina si esta uniformidad es positiva o negativa.
- i) **Taza limpia:** Es el atributo que refleja la pureza y transparencia del café, indicando la ausencia de defectos o sabores extraños.
- j) **Puntaje del catador:** Es la valoración global del catador sobre la bebida, integrando todos los atributos sensoriales evaluados para determinar la calidad final del café.

1.6.10. Catación del café

La catación, o *coffee cupping* en inglés, es una etapa esencial en la evaluación de la calidad del café, donde se analizan las características físicas y organolépticas del grano en sus diferentes estados: oro verde, tostado y en taza. Estas pruebas se realizan en laboratorio por catadores especializados, permitiendo identificar y caracterizar los atributos que expresan los granos durante la degustación. (Puerta, 2013).

La cata de café es un proceso meticuloso y sistemático para evaluar la calidad y las características sensoriales del café mediante los sentidos, principalmente el olfato y el gusto. Se utiliza tanto en la industria cafetera como por aficionados para analizar atributos como aroma, sabor, acidez, cuerpo, dulzor, limpieza y regusto, y también para detectar posibles defectos (Asociación española de café [AEcafé], 2024).

Una cata de café es un análisis sensorial que tiene como objetivo evaluar las propiedades organolépticas del café a través de los sentidos. Consiste en un conjunto de técnicas que permiten percibir, identificar y apreciar las características distintivas del grano. Es así que la calidad del café depende de los atributos específicos de cada muestra analizada basándose en la experiencia previa del catador (Martínez, 2011).

Los catadores son especialistas entrenados, capacitados y acreditados para evaluar la calidad del café a través de los sentidos de la vista, el olfato y el gusto. Mediante la evaluación sensorial, detectan defectos en la bebida, determinan la intensidad de atributos como acidez y dulzor, reconocen y califican el sabor y aroma, y valoran la calidad global del producto.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del campo experimental

La investigación se llevó a cabo en un suelo ácido, típico de la ceja de selva, ubicado en el anexo Canto Grande, perteneciente a la localidad de Palmapampa, en el distrito de Samugari, provincia de La Mar y departamento de Ayacucho. Está ubicada en las siguientes coordenadas:

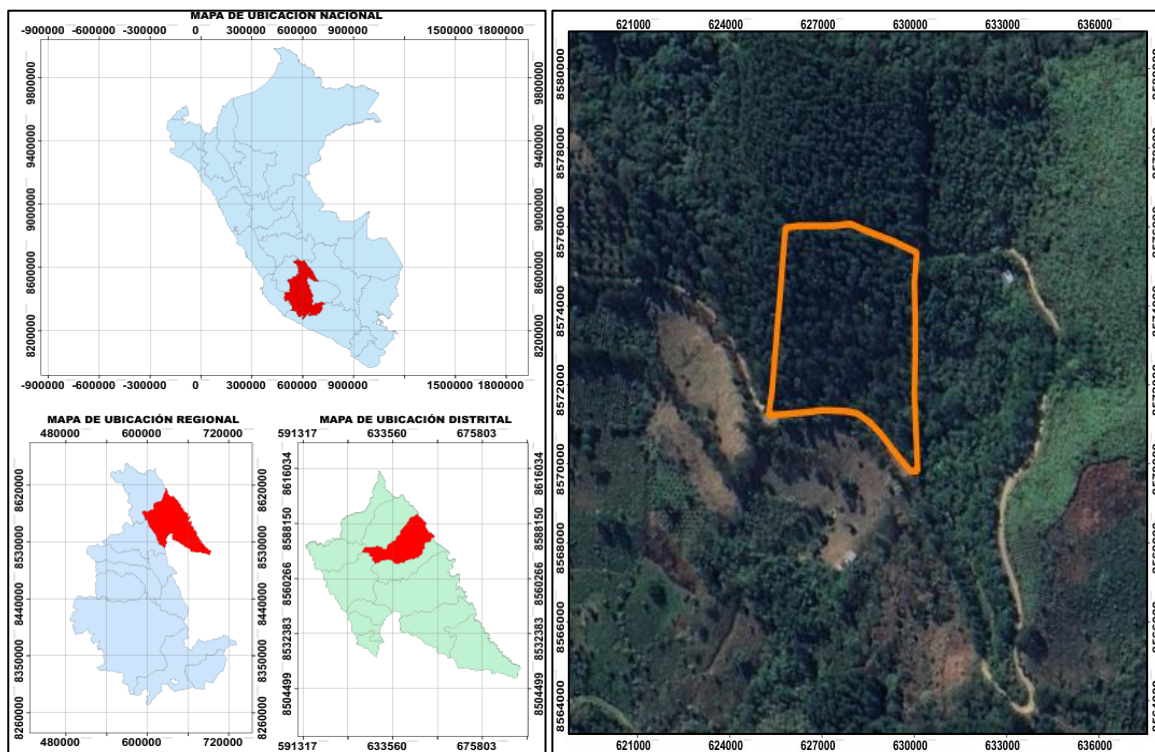
Latitud sur : 12°49'58.06''

Longitud oeste : 73°39'20.65''

Altitud : 1376 m.s.n.m.

Figura 2.1

Mapa de ubicación del experimento



2.2. Antecedentes del terreno

El campo experimental fue utilizado anteriormente para el cultivo de la hoja de coca (*Erythroxylum coca*); actividad que a largo plazo deterioró las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Este cultivo provoca degradación del suelo, disminuyendo el contenido de materia orgánica, alteración del pH, desequilibrios en la disponibilidad de nutrientes, así como en la reducción de la actividad biológica del suelo.

2.3. Características climáticas

Tabla 2.1

Precipitación y temperatura mensual de septiembre del 2023 – agosto del 2024, de la estación Meteorológica de Ayna – San Francisco

Año	2023				2024								ANUAL
Mes	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	
T° Max (°C)	33.03	27.29	31.40	31.03	31.19	30.72	30.52	31.73	32.16	31.53	31.68	32.35	
T° Min (°C)	15.60	17.29	18.77	18.03	19.58	19.14	18.71	17.10	15.26	11.73	11.71	13.94	
T° Med (°C)	24.32	22.29	25.09	24.53	25.39	24.93	24.62	24.42	23.71	21.63	21.70	23.15	
PP (mm)	151.8	151.4	351.4	161.3	393.3	341.2	303.4	187.1	84.0	77.9	82.7	79.1	2364.6

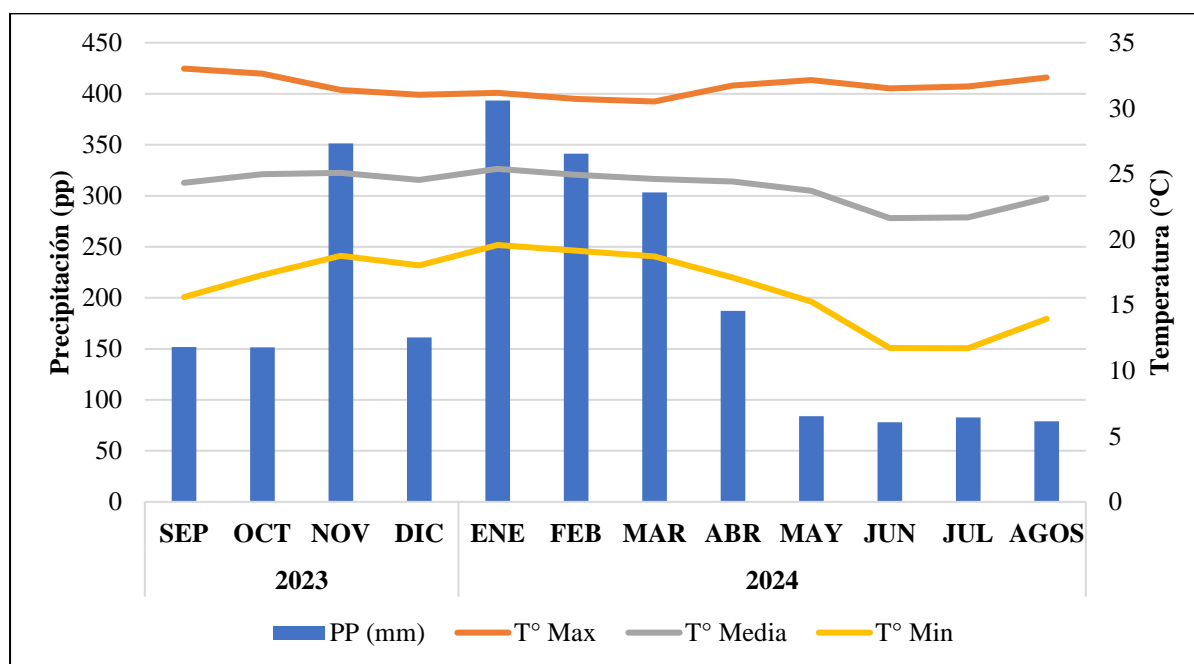
Los registros meteorológicos que se muestra en la tabla 2.1, fueron suministrados por el Gobierno Regional de Ayacucho mediante la estación meteorológica de Ayna - San Francisco, correspondientes al periodo en el que se evaluó el cultivo de café (septiembre de 2023 a agosto de 2024). Durante este intervalo, la precipitación acumulada fue de 2364.6 mm, registrándose las mayores lluvias entre noviembre de 2023 y marzo de 2024. La zona 28, donde se desarrolló la investigación, presentó una temperatura media de 24.12 °C, con valores extremos que oscilaron entre una máxima de 31.60 °C y una mínima de 16.63 °C, condiciones que favorecen el crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo de café.

De julio a septiembre, durante la etapa de reposo vegetativo e inducción floral del café, predomina la acción del ácido abscísico que favorece la tolerancia al estrés hídrico, induce la latencia de las yemas florales y promueve la acumulación de reservas para la siguiente fase de crecimiento. A partir de octubre y hasta junio, con el inicio de las lluvias, el ácido giberélico se vuelve la hormona predominante, estimulando la brotación, la floración y el desarrollo de los frutos, al promover la división y elongación celular, así como la movilización de nutrientes hacia los granos en formación.

De julio a septiembre, durante la etapa de reposo vegetativo el ácido abscísico predomina en el café, favoreciendo la tolerancia al estrés hídrico, la latencia floral y la acumulación de reservas. Desde octubre hasta junio, el ácido giberélico estimula la brotación, floración y desarrollo de frutos, así como la movilización de nutrientes hacia los granos en crecimiento.

Figura 2.2

Climograma correspondiente al periodo septiembre 2023 – agosto 2024 de la estación meteorológica de Ayna - San Francisco



2.4. Análisis del suelo e interpretación

Se recolectaron submuestras de diversos puntos dentro de la parcela experimental, siguiendo los protocolos establecidos de muestreo. Estas submuestras fueron homogenizadas y posteriormente divididas en cuarto partes, con el fin de obtener una muestra representativa de 1 kilogramo de suelo. Dicha muestra fue enviada al laboratorio de multiservicios AGROLAB para su respectivo análisis de caracterización, cuyos resultados e interpretación se presentan en la tabla 2.1.

A partir del análisis de suelo se identifica como principal problema el desbalance catiónico, evidenciado por relaciones no equilibradas entre Ca/Mg, Ca/K y Mg/K, lo cual puede afectar la nutrición del cultivo. Además, el pH de 4.46 se clasifica como muy fuertemente ácido, por debajo del rango óptimo de 5.0 a 5.5 para el cultivo de café. No obstante, la textura franco arcilloso no representa una limitante, ya que el café puede crecer adecuadamente en suelos de textura franco arenosa a franco arcillosa, siempre que sean bien drenados y con buen contenido de materia orgánica.

Tabla 2.2*Resultados del análisis de caracterización del suelo*

Variables	Valores	Método	Interpretación
pH (1:1)	4.46	Potenciometría	Muy fuertemente ácido
C.E. (dS m ⁻¹)	0.13	Conductimetría	No salino
Materia orgánica (%)	4.86	Walkley Black	Rico
CaCO ₃ (%)	0.0	Gasometría	Muy bajo
N - total (%)	0.24	Semi micro Kjeldahl	Alto
P disponible (ppm)	4.75	Olsen modificado	Muy bajo
K disponible (ppm)	77	Morgan Peech (Acetato de Na)	Medio
C.I.C. (Cmol kg ⁻¹)	13.06	Acetato de amonio 1N, pH 7	Medio
Ca ⁺⁺ (Cmol kg ⁻¹)	2.67	Acetato de amonio 1N, pH 7	Desbalance catiónico
Mg ⁺⁺ (Cmol kg ⁻¹)	0.81	Acetato de amonio 1N, pH 7	
K ⁺ (Cmol kg ⁻¹)	0.29	Acetato de amonio 1N, pH 7	
Na ⁺ (Cmol kg ⁻¹)	0.19	Acetato de amonio 1N, pH 7	
Al ⁺³ + H ⁺ (Cmol kg ⁻¹)	4.74	Titulación	
Al ⁺³ (Cmol kg ⁻¹)	2.48	Titulación	
% Sat. Bases	30		Bajo
Arena (%)	30		
Limo (%)	30	Hidrómetro de Bouyoucos	Franco arcilloso
Arcilla (%)	40		

Fuente: Resultados del laboratorio multiservicios AGROLAB - Ayacucho

El contenido de materia orgánica es alto (4.86%), lo cual favorece la fertilidad y estructura del suelo. La capacidad de intercambio catiónico (13.06 Cmol kg⁻¹) es media, indicando buena retención de nutrientes. En cuanto a los elementos esenciales, el fósforo presenta un nivel muy bajo (4.75 ppm) y el potasio un nivel medio (77 ppm), siendo ambos determinantes para la nutrición mineral del café y deben ser manejados adecuadamente para lograr un buen rendimiento.

2.5. Cultivo de café

En el experimento se empleó plantaciones de café de la variedad Catimor, con tres años de edad y sembrado a 2 metros entre hileras y 1 metro entre plantas con una densidad de 5000 plantas por hectárea.

La variedad Catimor es un híbrido resultante del cruce entre la variedad Caturra (de porte bajo y buena calidad en taza) y el Híbrido de Timor (resistente a la roya del café), lo que les confiere una notable resistencia genética a enfermedades importantes. Presenta un porte bajo o compacto, con ramas largas y vigorosas, brotes de color verde y bronce, hojas anchas de color verde oscuro y una arquitectura foliar medianamente compacta. Tiene alta resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) y a la antracnosis de la cereza (*Colletotrichum kahawae*), lo que reduce significativamente el uso de agroquímicos y las pérdidas por enfermedades. Su rendimiento en campo es elevado, pudiendo superar los 45 a 65 quintales por hectárea de café pergamino en condiciones óptimas. Es una variedad que se adapta bien a altitudes entre 600 y 1,500 m.s.n.m., soportando tanto climas húmedos como sequías moderadas (Milla-Pino et al., 2019).

2.6. Material encalante

El material encalante empleado en el presente trabajo de investigación fue la dolomita, la cual presenta una composición química de 60% de carbonato de calcio (CaCO_3) y 30% de carbonato de magnesio (MgCO_3).

2.7. Biochar enriquecido

El biochar fue obtenido mediante un proceso de pirólisis de los residuos vegetales propios de la zona. Posteriormente, fue molido de manera uniforme y activado con un abono orgánico (biol), mediante un proceso de remojo durante 15 días. Esta activación tuvo como finalidad cargar el biochar con nutrientes y microorganismos beneficiosos para maximizar sus efectos en la fertilidad del suelo.

2.8. Factores de estudio

Factor A: Dosis de dolomita (D)

d₀: 0 t/ha

d₁: 1.5 t/ha

d₂: 3.0 t/ha

d₃: 4.5 t/ha

d₄: 6.0 t/ha

Factor B: Dosis de biochar (B)b₀: 0 kg/hab₁: 50 kg/hab₂: 100 kg/hab₃: 150 kg/ha**2.9. Tratamientos en estudio**

Se consideró la aplicación de 5 niveles de dolomita, 4 niveles de biochar con tres repeticiones que permiten 60 unidades experimentales. En la tabla 2.2 se muestran los tratamientos que resultan de la combinación de las dosis de dolomita con las de biochar.

Tabla 2.3*Descripción y codificación de los tratamientos*

Tratamiento	Código	Descripción
T ₁	d ₀ *b ₀	Testigo
T ₂	d ₀ *b ₁	50 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₃	d ₀ *b ₂	100 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₄	d ₀ *b ₃	150 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₅	d ₁ *b ₀	1.5 t (dolomita)/ha
T ₆	d ₁ *b ₁	1.5 t (dolomita)/ha más 50 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₇	d ₁ *b ₂	1.5 t (dolomita)/ha más 100 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₈	d ₁ *b ₃	1.5 t (dolomita)/ha más 150 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₉	d ₂ *b ₀	3.0 t (dolomita)/ha
T ₁₀	d ₂ *b ₁	3.0 t (dolomita)/ha más 50 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₁₁	d ₂ *b ₂	3.0 t (dolomita)/ha más 100 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₁₂	d ₂ *b ₃	3.0 t (dolomita)/ha más 150 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₁₃	d ₃ *b ₀	4.5 t (dolomita)/ha
T ₁₄	d ₃ *b ₁	4.5 t (dolomita)/ha más 50 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₁₅	d ₃ *b ₂	4.5 t (dolomita)/ha más 100 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₁₆	d ₃ *b ₃	4.5 t (dolomita)/ha más 150 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₁₇	d ₄ *b ₀	6.0 t (dolomita)/ha
T ₁₈	d ₄ *b ₁	6.0 t (dolomita)/ha más 50 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₁₉	d ₄ *b ₂	6.0 t (dolomita)/ha más 100 kg (biochar enriquecido)/ha
T ₂₀	d ₄ *b ₃	6.0 t (dolomita)/ha más 150 kg (biochar enriquecido)/ha

2.10. Duración del experimento

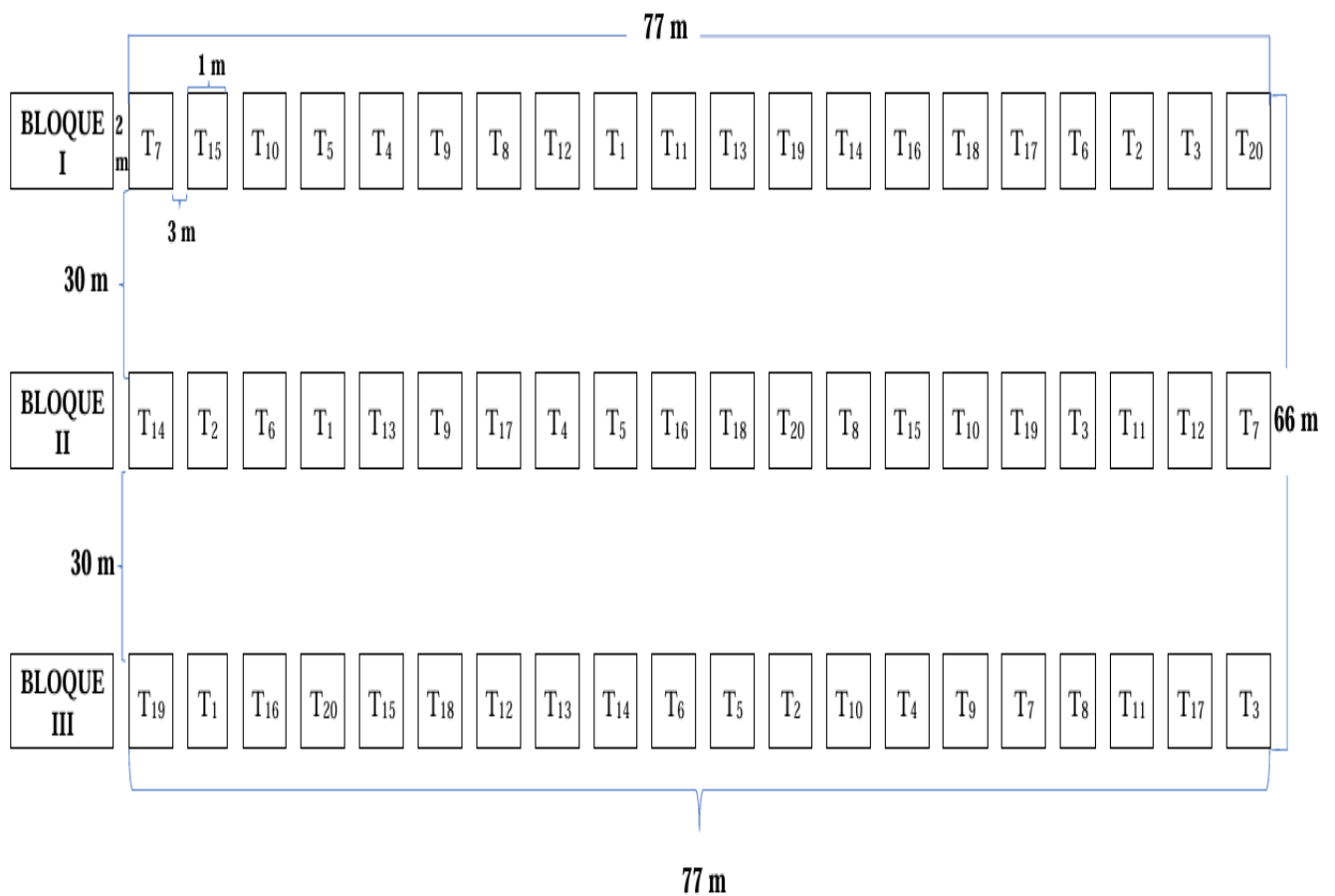
El presente trabajo de investigación se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre septiembre del 2023 y agosto del 2024, con una duración total de 12 meses.

2.11. Características de la unidad y campo experimental

Distanciamiento entre plantas	: 1 m
Distanciamiento entre hileras	: 2 m
Área por unidad experimental	: 2 m ²
Número de unidades experimentales	: 60
Área ocupada por los tratamientos	: 154 m ²
Área total incluyendo bordes y calles	: 5082 m ²

Figura 2.3

Croquis del campo experimental con los tratamientos aleatorizados



2.12. Instalación y conducción del experimento

a. Habilitación y preparación del terreno (22/09/2023)

Consistió en la ubicación del campo experimental, seleccionando un área representativa para la ejecución de la investigación. Posteriormente, se procedió con la preparación del terreno a través de una limpieza manual exhaustiva, que incluyó la recolección y eliminación de residuos vegetales y la remoción de malezas presentes en la superficie. Estas labores tuvieron como finalidad crear condiciones homogéneas en el suelo, evitando interferencias en el desarrollo del café y asegurando un desarrollo uniforme de los tratamientos a evaluar.

b. Demarcación del terreno (23/09/2023)

La delimitación del terreno se efectuó conforme al croquis establecido, utilizando estacas de madera para su demarcación respectiva, identificación de los tratamientos y unidades experimentales.

c. Aplicación del material encalante (25/09/2023)

Una vez identificadas las unidades experimentales, se procedió a incorporar la dolomita de acuerdo con los niveles establecidos para cada tratamiento. Previamente, se realizó la limpieza de rastrojos en el área correspondiente, y posteriormente se esparció la dolomita de manera minuciosa y uniforme en toda el área ocupada por la copa del café. Finalmente, los rastrojos fueron colocados nuevamente para cubrir el material aplicado.

d. Aplicación del abonamiento de fondo (25/10/2023)

Se aplicó un abonamiento de fondo basado en fertilización química, formulado en función del análisis del suelo y de los requerimientos nutricionales del café, donde las dosis de fertilización utilizadas fueron: 80 kg/ha (N), 55 kg/ha (P_2O_5) y 30 kg/ha (K_2O). Las fuentes utilizadas fueron: Urea (46% N), fosfato diamónico (18% N y 46% P_2O_5) y cloruro de potasio (60% K_2O). El abonamiento se realizó en dos partes; donde el 50% se aplicó en la etapa de floración, con el objetivo de fortalecer el llenado de los frutos y favorecer una adecuada formación del grano y el 50% restante en la etapa de maduración con la finalidad de homogenizar la madurez.

e. Aplicación del biochar enriquecido (25/10/2023)

El biochar se aplicó de acuerdo con los niveles establecidos para cada tratamiento. Previamente, fue activado con biol antes de su aplicación. Posteriormente, se esparció de manera uniforme en toda el área comprendida por la proyección de la copa del café. Finalmente, se cubrió nuevamente con los rastrojos retirados previamente.

f. Riego

La parcela se manejó bajo un sistema del riego secano, sin necesidad de riegos suplementarios, ya que la precipitación pluvial registrada durante el periodo del estudio fue suficiente para suplir las necesidades hídricas del café.

g. Control de maleza

El deshierbo se llevó a cabo manualmente mediante el uso de machetes, con el propósito de eliminar las malezas que generan competencias por nutrientes, agua y luz.

h. Control fitosanitario

Se aplicó un fungicida de manera preventiva (Puccin® 77 WP), a base de hidróxido de cobre, mediante aplicación foliar a una dosis de 100 gramos por cada 20 litros de agua. Esta práctica se realizó con el objetivo de prevenir enfermedades comunes del cultivo de café, tales como la roya (*Hemileia vastatrix*) y la antracnosis (*Colletotrichum spp.*).

i. Cosecha

La cosecha manual se realizó de manera selectiva, una vez que los granos alcanzaron su estado óptimo de maduración. Las fechas de cosecha fueron las siguientes: primera cosecha el 22 de abril, segunda el 13 de mayo, tercera el 3 de junio, cuarta el 17 de junio, quinta el 1 de julio y la sexta 22 de julio del 2024. Este proceso se llevó a cabo de forma rigurosa y cuidadosa, con el fin de evitar errores que pudieran afectar la calidad del producto.

j. Despulpado

El despulpado se realizó manualmente con ayuda de una despulpadora, con el propósito de separar el grano de pulpa del café.

k. Fermentación

La fermentación se realizó con el propósito de eliminar el mucílago que cubre el grano de café.

l. Lavado

Transcurridas 12 horas de fermentación, se procedió al lavado del grano con agua limpia.

m. Secado

Consistió en disminuir la humedad del grano hasta alcanzar un contenido de entre 10% y 12%.

n. Almacenamiento

El grano seco se almacenó en sacos de yute con la finalidad de conservarlo en buenas condiciones.

2.13. Variables en evaluación

2.13.1. Del rendimiento del café

Se evaluaron las siguientes variables:

a. Peso de 1000 semillas de café pergamino

Se realizó un conteo de 100 semillas, las cuales fueron pesadas en una balanza analítica. Posteriormente, este peso se infirió a mil semillas para determinar el peso promedio de las semillas en cada tratamiento.

b. Rendimiento de grano pergamino seco por hectárea

El peso del grano pergamino seco se determinó mediante una balanza analítica, una vez cosechados y secados los granos correspondientes a cada uno de los tratamientos.

2.13.2. De la calidad del café

a. Evaluación de la calidad física

Las evaluaciones de calidad física fueron efectuadas por un juez certificado como catador Q Arabica Grader, en el laboratorio de CITE Agroindustrias, utilizando los equipos, formatos y procedimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 209.311:2019.

- Rendimiento físico
- Humedad
- Densidad
- Cascarilla y/o pergamino
- Coproductos
- Defectos primarios
- Defectos secundarios

b. Calidad en taza

La evaluación de la calidad sensorial fue realizada por un juez certificado como catador Q Arabica Grader, en el laboratorio correspondiente de CITE Agroindustrias, utilizando los equipos y formatos establecidos, siguiendo además los protocolos, de la Specialty Coffee Association (SCA, 2019).

- Fragancia/Aroma
- Sabor
- Sabor residual
- Acidez
- Cuerpo
- Balance
- Uniformidad
- Taza limpia
- Dulzor
- Puntaje de catador

2.13.3. De la relación beneficio/costo del cultivo de café

Se evaluó la utilidad neta, calculada como la diferencia entre todos los ingresos obtenidos por la venta del café y los gastos incurridos durante la ejecución del experimento. Los resultados se extrapolaron a una hectárea.

$$\text{Relación B/C} = \frac{\text{Ingreso neto}}{\text{Costo total}}$$

2.14. Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se dispuso en un factorial de cinco niveles de dolomita, cuatro niveles de biochar con 3 repeticiones con 60 unidades experimentales dispuestas en el Diseño de Bloques Completos al Azar. La información obtenida de las variables en estudio, fueron sometidos al Análisis de Variancia y la diferencia de las medias de los tratamientos mediante la prueba de Duncan ($p > 0.05$).

El Modelo aditivo lineal es la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_k + \beta_i + (\alpha\beta)_{ik} + \delta_j + (\beta\delta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Variable de respuesta del i-ésimo nivel de encalado, j-ésimo nivel de biochar, en el k-ésimo bloque.

μ : Media general.

α_k : Efecto del k-ésimo bloque.

β_i : Efecto del factor "dosis de dolomita".

δ_j : Efecto del factor "dosis de biochar"

$(\beta\delta)_{ij}$: Efecto de la interacción "dosis de dolomita por dosis de biochar".

ϵ_{ijk} : Error experimental

2.15. Análisis económico

2.15.1. Costo de producción (S/. ha)

Los costos de producción se calcularon tomando en cuenta tanto los costos directos como los indirectos generados a lo largo del proceso productivo de cada tratamiento evaluado.

2.15.2. Precio del producto (S/. kg)

Se consideraron los precios de venta registrados en las tiendas mayoristas de la localidad de Palmapampa durante la campaña 2024.

2.15.3. Valor bruto de la producción (S/. kg)

El valor bruto de producción se determinó multiplicando el rendimiento de cada tratamiento (kg/ha) por el precio de venta del producto (S/.).

2.15.4. Valor neto de la producción (S/. ha)

El valor neto de producción se calculó restando el costo total de producción (S/. ha⁻¹) al valor bruto de producción (S/. ha⁻¹) correspondiente a cada tratamiento.

2.15.5. Rentabilidad (B/C)

La rentabilidad se determinó dividiendo el ingreso neto (S/. ha⁻¹) entre los costos de producción (S/. ha⁻¹) de cada tratamiento.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Del rendimiento de café

3.1.1. Peso de mil semillas

En la tabla 3.1, se muestra el análisis de varianza para el peso de mil semillas del café, evaluado bajo el efecto de diferentes dosis de dolomita, biochar enriquecido y su interacción; donde los resultados muestran diferencias altamente significativas para los efectos principales de dolomita y biochar y en la interacción dolomita por biochar. Esto indica que cada uno de los factores y su interacción tuvieron un efecto diferencial en el peso de mil semillas, con un coeficiente de variación de 2.26%, indicando un alto grado de homogeneidad en las variables evaluadas y sus repeticiones.

Tabla 3.1

Análisis de varianza del peso de mil semillas de café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P - Valor
Bloque	2	12.70	6.35	0.36	0.6974
Dolomita (D)	4	3688.73	922.18	52.83	<0.0001**
Biochar (B)	3	1539.65	513.22	29.40	<0.0001**
Interacción (D*B)	12	2525.27	210.44	012.06	<0.0001**
Error	38	663.30	17.46		
Total	59	8429.65			

CV (%) = 2.26

Al realizar la prueba de significación de Duncan para determinar la influencia de las dosis de dolomita, biochar enriquecido y su interacción sobre el peso de mil semillas del café (figura 3.1), se revela que el peso de mil semillas varió significativamente en función a las dosis aplicadas. El tratamiento T20 (d4*b3), que corresponde a la aplicación de dolomita (6.0 t/ha) y biochar enriquecido (150 kg/ha), alcanzó el valor más alto con 208.33 g, aunque no difiere estadísticamente de los tratamientos T18 y T 14 pero que superan ampliamente a los demás tratamientos. Este resultado destaca la influencia positiva de las enmiendas combinadas con biochar especialmente cuando se utilizan en dosis altas, lo que sugiere un efecto sinérgico entre ambos insumos.

En general, se observa que los tratamientos que incluyeron dolomita en dosis crecientes (d1 a d4) tendieron a incrementar el peso de mil semillas en comparación con los tratamientos sin dolomita (d0). Esto puede explicarse por la capacidad de la dolomita para corregir la acidez del suelo, elevando el pH y mejorando la disponibilidad de nutrientes como calcio y magnesio, esenciales para la formación y llenado de los granos (Carbajal & Gómez, 2016). Del mismo modo, se observó que la aplicación de 150 kg/ha de biochar enriquecido generó valores significativamente más altos en el peso de mil semillas, en comparación con los tratamientos sin aplicación de biochar. Esta tendencia se atribuye a que el biochar, por su estructura porosa y alto contenido de carbono, mejora la retención de humedad, la aireación y la actividad microbiana, factores que también favorecen la absorción de nutrientes (Escalante et al., 2016).

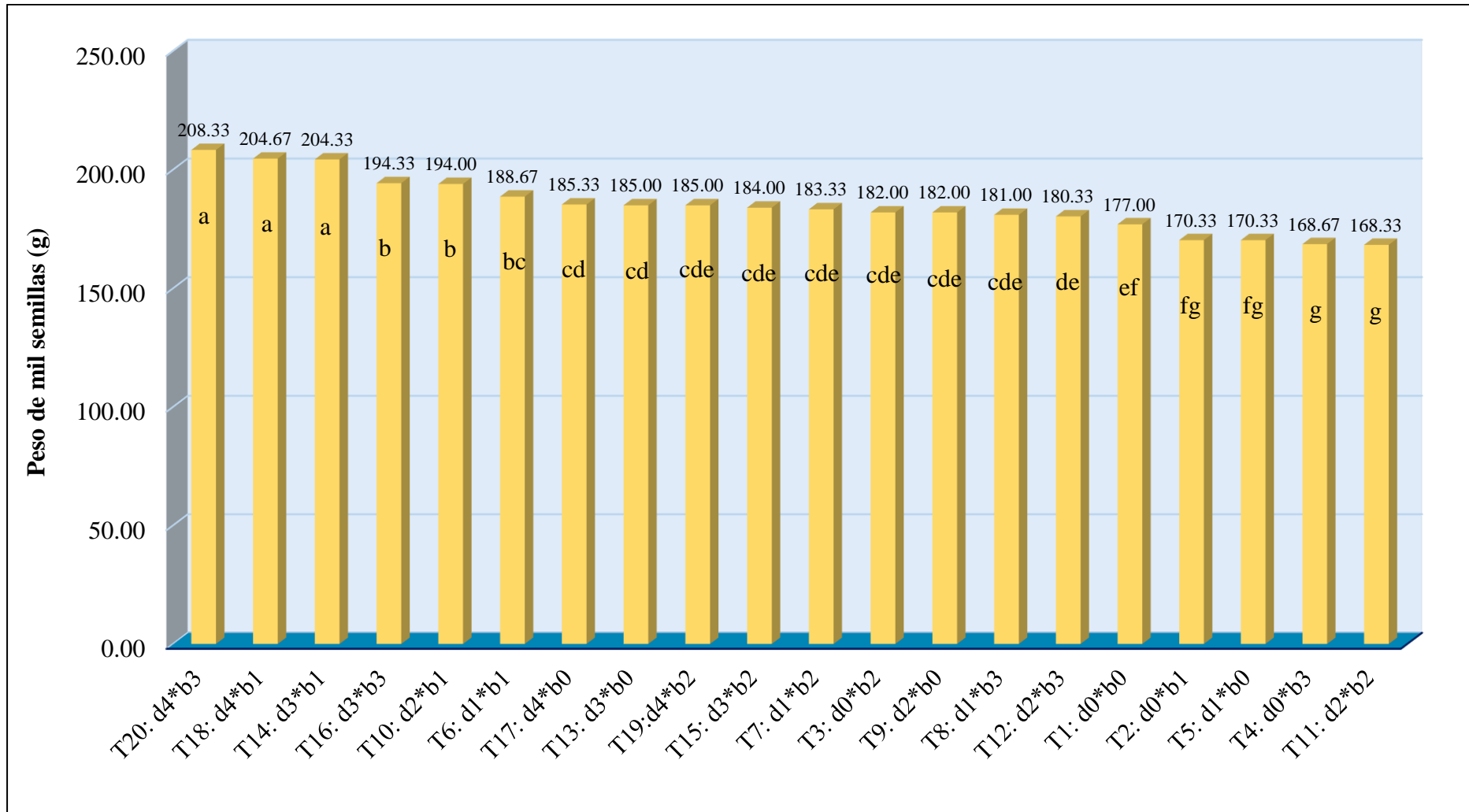
Se resalta además que el tratamiento con mayor peso de semillas (T20: d4*b3), alcanzando 208.33 gramos, correspondió a la combinación de la dosis más alta de dolomita (6.0 t/ha) y la dosis máxima de biochar (150 kg/ha). Mientras que el tratamiento con menor peso, como T11 (d2*b2), que registró un valor de 168.33 gramos, estuvo asociado a dosis intermedias de dolomita (3.0 t/ha) y biochar (100 kg/ha). Esto refuerza la idea de que el impacto positivo de las enmiendas depende no solo de su aplicación individual, sino también de su interacción y del equilibrio entre cantidad y calidad de insumo utilizado.

Por otro lado, los tratamientos sin la aplicación de dolomita ni biochar (d0*b0) mostraron valores considerablemente más bajos. Además, la diferencia entre el tratamiento con mayor valor (T20) y el de menor valor (T11) fue de 40 g, lo cual representa una mejora del 23.76%, resultado agrónomicamente importante cuando se busca incrementar la calidad comercial del café.

En este sentido, lo señalado por Llobet (2021) es consistente con los resultados obtenidos en el presente estudio, al indicar que el peso de mil semillas de café arábica secas puede oscilar entre 150 y 180 gramos. Sin embargo, en el presente experimento, varios tratamientos superaron este rango, alcanzando valores por encima de los 200 gramos, como es el caso del tratamiento T20 (d4*b3).

Figura 3.1

Prueba de Duncan (0.05) del peso de mil semillas del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido



Por su parte, Marín-López (2003) indicaron que en su investigación se obtuvo un peso de mil semillas de 182 gramos en la variedad Colombia, la cual fue cultivada a una altitud de 1400 metros sobre el nivel del mar en condiciones agroecológicas del territorio colombiano. Este valor refleja las características físicas y fisiológicas propias de la semilla.

3.1.2. Del peso de grano pergamino seco por hectárea

En la tabla 3.2, se muestra el análisis de varianza para el rendimiento en grano pergamino seco del café evaluado bajo el efecto de las dosis de dolomita, biochar enriquecido y su interacción. Se encontró una alta significación estadística entre los efectos principales: dolomita y biochar; sin embargo, la interacción entre dolomita x biochar no fue significativa, lo que indica que los efectos de ambos insumos sobre el rendimiento en grano seco fueron independientes.

El coeficiente de variación fue de 7.72%, lo que indica una buena estabilidad y consistencia en los datos recopilados durante la evaluación.

Tabla 3.2

Análisis de varianza del rendimiento en grano pergamino seco del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

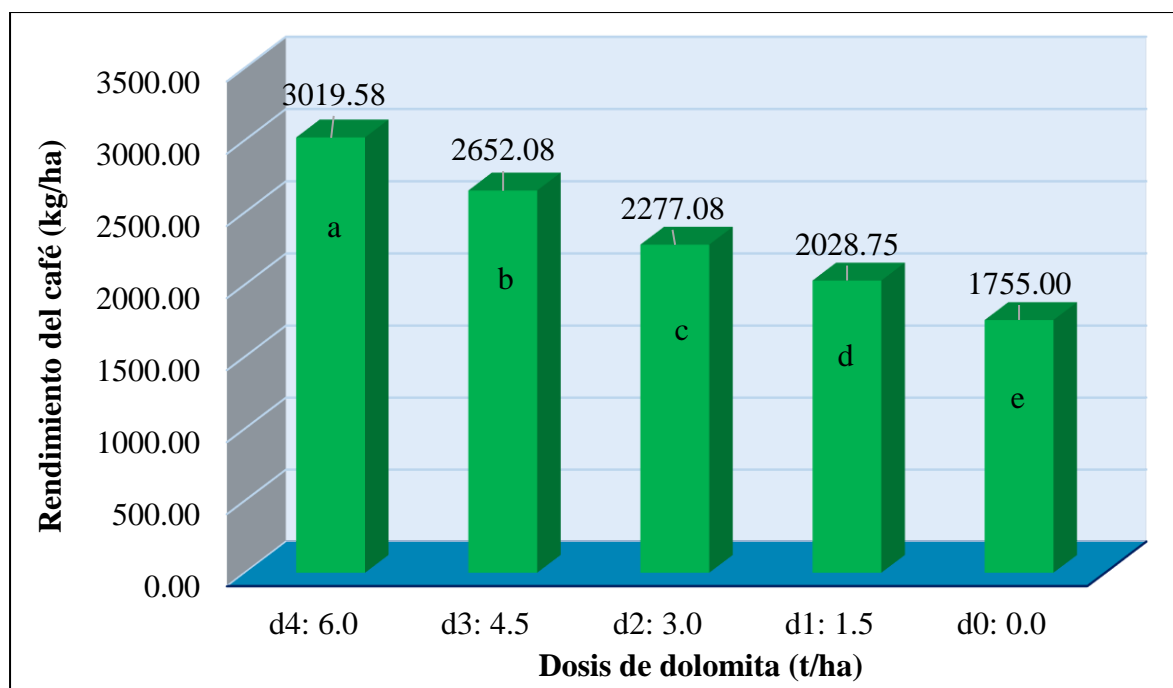
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P - Valor
Bloque	2	6310.00	3155.00	0.10	0.9086ns
Dolomita (D)	4	120224940.00	3006235.00	91.55	<0.0001**
Biochar (B)	3	424591.67	141530.56	4.31	0.0104*
Interacción (D*B)	12	108366.67	9030.56	0.28	0.9900ns
Error	38	1247856.67	32838.33		
Total	59	13812065.00			

CV (%) = 7.72

La figura 3.2 de la prueba de Duncan para el rendimiento del café en grano pergamino seco (kg/ha), muestra claramente una tendencia ascendente en el rendimiento conforme se incrementa la dosis de dolomita aplicada al suelo. El tratamiento con mayor rendimiento fue d4 (6.0 t/ha), alcanzando 3019.58 kg/ha, mientras que el tratamiento sin aplicación de dolomita (d0) obtuvo el menor rendimiento, con apenas 1755.00 kg/ha. Esta diferencia representa un incremento del 72% en productividad al aplicar la dosis más alta de dolomita en comparación con el testigo.

Figura 3.2

Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento promedio de grano pergamino seco del café por efecto de las dosis de dolomita



Es importante señalar que estos resultados concuerdan con los resultados hallados por Rodríguez (2019), quien demostró que la aplicación de dolomita en suelos ácidos incrementa el pH y mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales, como calcio y magnesio, lo que se traduce en un mejor desarrollo de las plantas y un mayor rendimiento.

Respecto al rendimiento del café, López-Báez (2018) señala que la incorporación de 500 kg/ha de dolomita en un suelo con pH inicial de 5.3 permitió alcanzar un rendimiento promedio de 5066 kg/ha de grano pergamino seco en la variedad Oro Azteca, cultivada en México. En comparación, la parcela testigo, sin aplicación de dolomita, registró un rendimiento promedio de 3850 kg/ha, lo que evidencia una mejora significativa atribuida a la corrección parcial de la acidez del suelo.

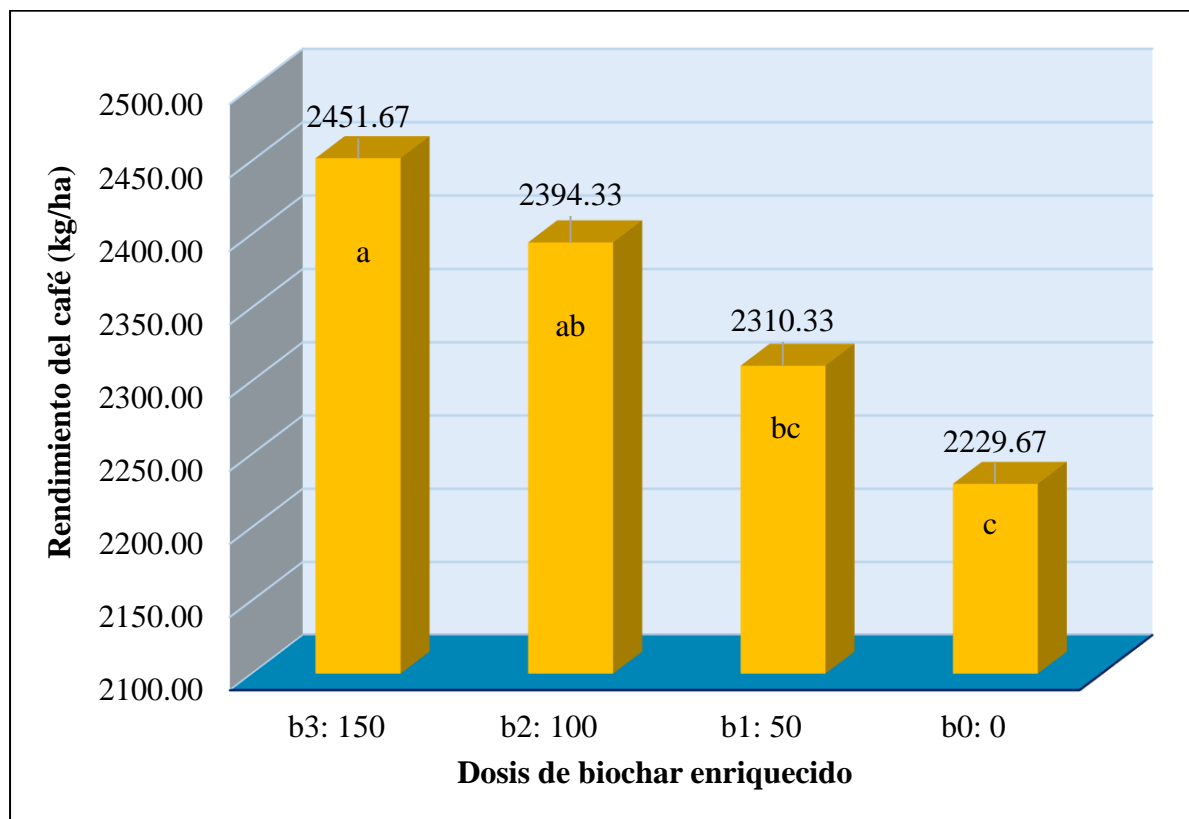
Cabe destacar que todos los tratamientos con aplicaciones de dolomita mostraron rendimientos superiores al tratamiento sin enmienda, resultados que coinciden en gran medida con lo reportado por Villamagua et al. (2021), quienes observaron que la aplicación de 5.0 y 6.3 t/ha de carbonato de calcio (CaCO_3) promovió un mayor crecimiento vegetativo y radicular en plantas de cafeto en comparación con el testigo sin encalado; lo que representa una mayor absorción de nutrientes y por ende mayor rendimiento.

Por su parte, Puerres (2001), reportó que con la aplicación de 140 g/planta de un abono compuesto (25 – 4 – 24) junto con 100 g/planta de una mezcla de urea y DAP en relación 3:1, generó un rendimiento en café pergamino seco de 1667.16 kg/ha en la variedad Colombia. Este rendimiento, aunque favorable en su contexto, resulta significativamente inferior al alcanzado en el presente estudio con la aplicación de dolomita, donde la mayor dosis (d4: 6 t/ha) logró un rendimiento de 3019.58 kg/ha.

Además, la dolomita también aporta directamente calcio y magnesio, nutrientes esenciales que intervienen en procesos fisiológicos clave como la formación de paredes celulares, transporte de foto asimilados y actividad enzimática (Ortez & Zavala, 2014). Su presencia adecuada favorece el crecimiento de tejidos vegetales y mejora el llenado del fruto, aspectos que están directamente relacionados con un aumento en la producción por planta.

Figura 3.3

Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento de grano pergamino seco del café bajo el efecto de las dosis de biochar enriquecido.



Al realizar la prueba de Duncan respecto al efecto de las dosis de biochar que se muestra en la figura 3.3, los resultados obtenidos muestran una relación positiva entre la dosis de biochar enriquecido aplicada y el rendimiento del café (kg/ha); donde se encontró que el mayor rendimiento de café en grano pergamino seco (2451.67 kg/ha), corresponde a una dosis de b3 (150 kg (biochar)/ha), mientras con la dosis d0 (testigo) se encontró un rendimiento de 2229.67 kg/ha, existiendo una diferencia de hasta el 10% entre las diferentes dosis.

Los datos obtenidos respaldan a lo reportado por Sánchez (2022), quien sostiene que encontró rendimientos más altos en las plantas tratadas con biochar en comparación con aquellas que no recibieron ni biochar ni fertilizantes, evidenciando así el efecto positivo de esta enmienda sobre la productividad del cultivo de café.

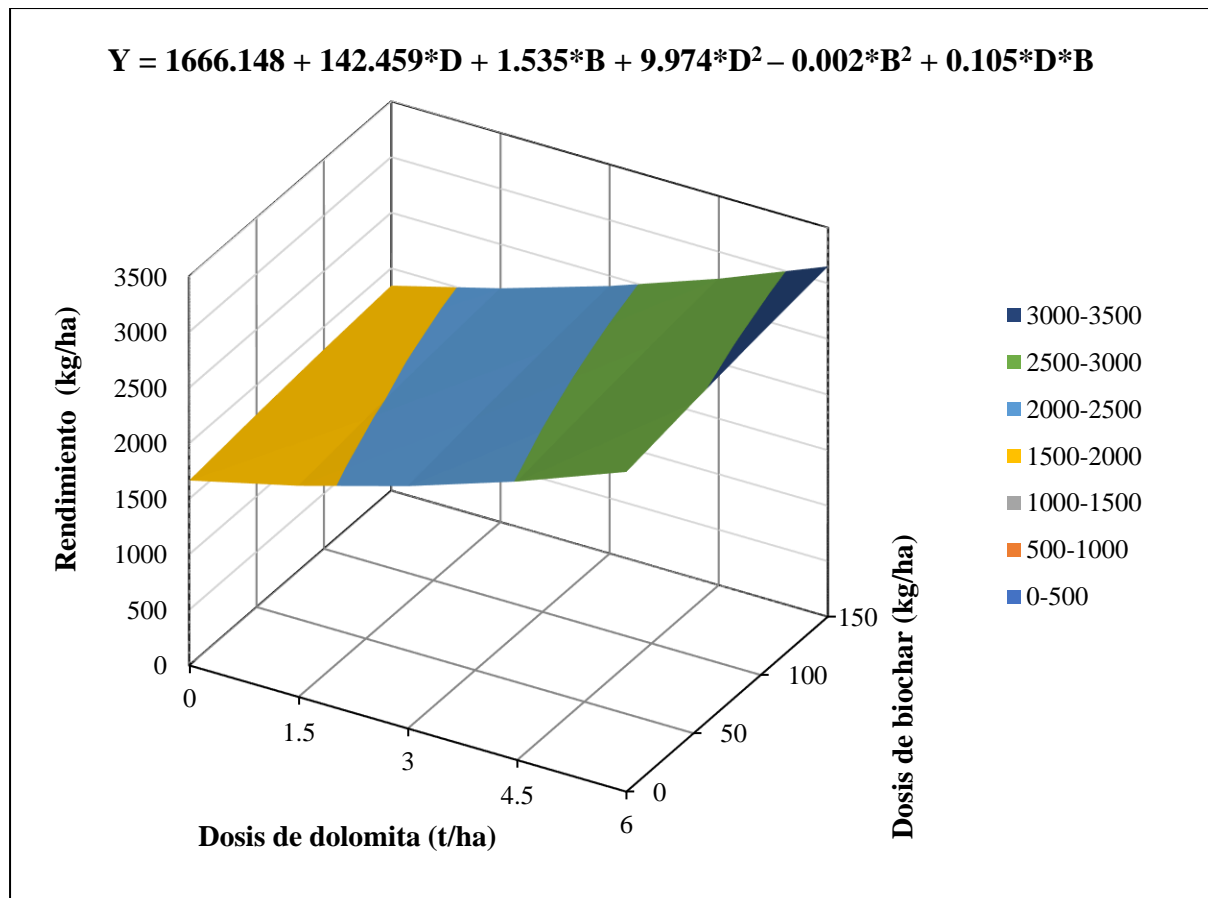
Los hallazgos del presente estudio coinciden con investigaciones previas como las de Cargua et al. (2022), quienes reportaron mejoras en la producción de café con el uso de biochar como enmienda del suelo. Sin embargo, también se debe tener en cuenta factores como la textura del suelo, las condiciones climáticas y el tipo de biochar utilizado, ya que estos pueden influir en la eficacia del tratamiento.

Estos resultados sugieren que la aplicación de biochar mejora significativamente la productividad del cultivo de café. Esta mejora se atribuye a las propiedades del biochar que favorecen la retención de agua, el aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la mejora en la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (Valdizón, 2023). Asimismo, el biochar puede contribuir a la mejora de la actividad microbiana del suelo, lo cual favorece el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes.

De manera complementaria, se grafica la superficie de respuesta (figura 3.4) que muestra el rendimiento de grano pergamino seco del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar. Se observa que la dolomita tuvo mayor influencia en el rendimiento que el biochar que se verifica al incrementar las dosis de dolomita de 0 a 6 t/ha, el rendimiento aumentó aproximadamente de 1800 a 3000 kg/ha, lo que representa un incremento de 1200 kg/ha. En cambio, al aplicar biochar de 0 a 150 kg/ha, el rendimiento se incrementó aproximadamente de 2200 a 2500 kg/ha, es decir, solo 300 kg/ha. Por tanto, la dolomita ejerció un efecto más marcado sobre el rendimiento, lo que corrobora que las dosis de dolomita tienen una mayor significancia en comparación con las de biochar.

Figura 3.4

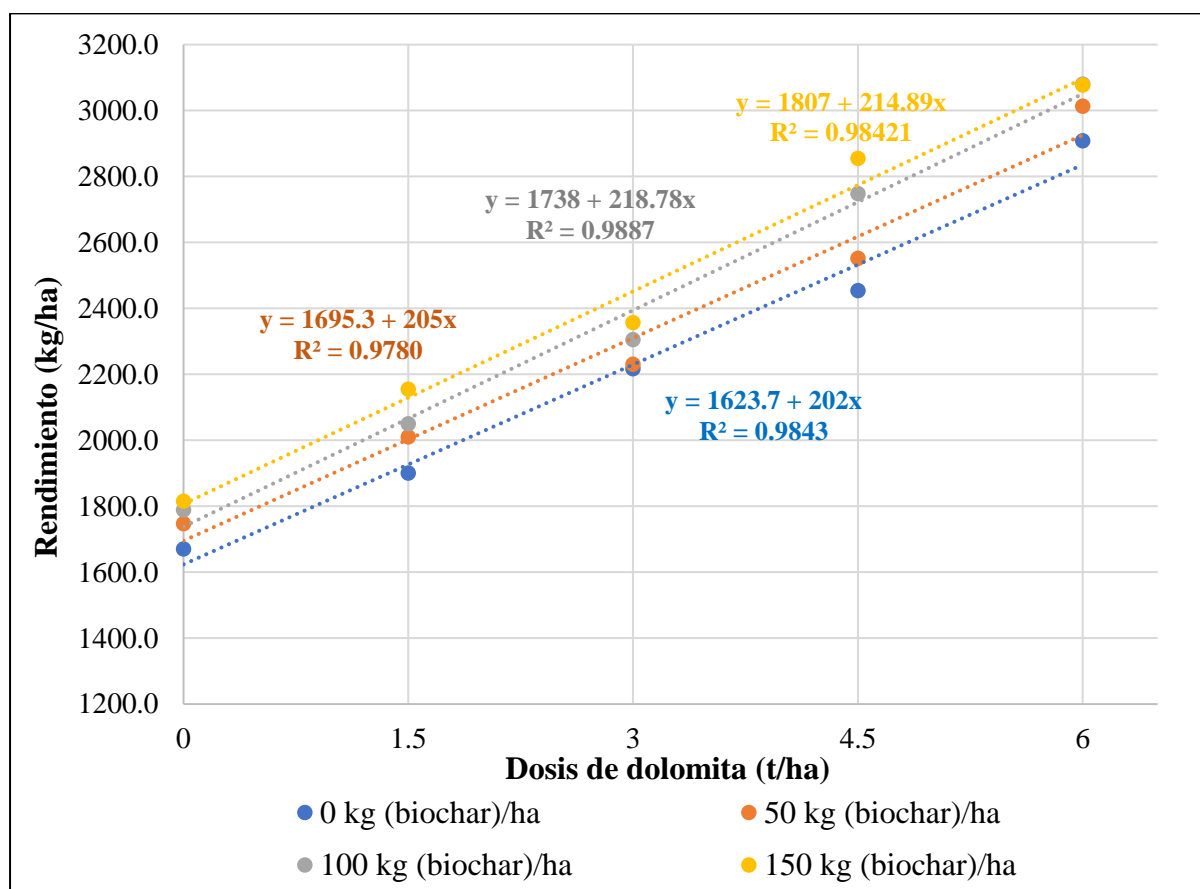
Superficie de respuesta del rendimiento de grano pergamino seco del café Catimor bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido



La figura 3.4 presenta la superficie de respuesta, la cual constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones agronómicas, ya que permite estimar con mayor precisión las combinaciones óptimas de dolomita y biochar necesarias para alcanzar un rendimiento deseado de grano pergamino seco. Esta superficie facilita la proyección de resultados en función de distintas dosis, lo que contribuye a una mejor planificación del abonamiento, optimizando el uso de insumos y mejorando la eficiencia productiva del cultivo.

Figura 3.5

Isolíneas del rendimiento de grano pergamino seco del café Catimor en respuesta a las diferentes dosis de dolomita

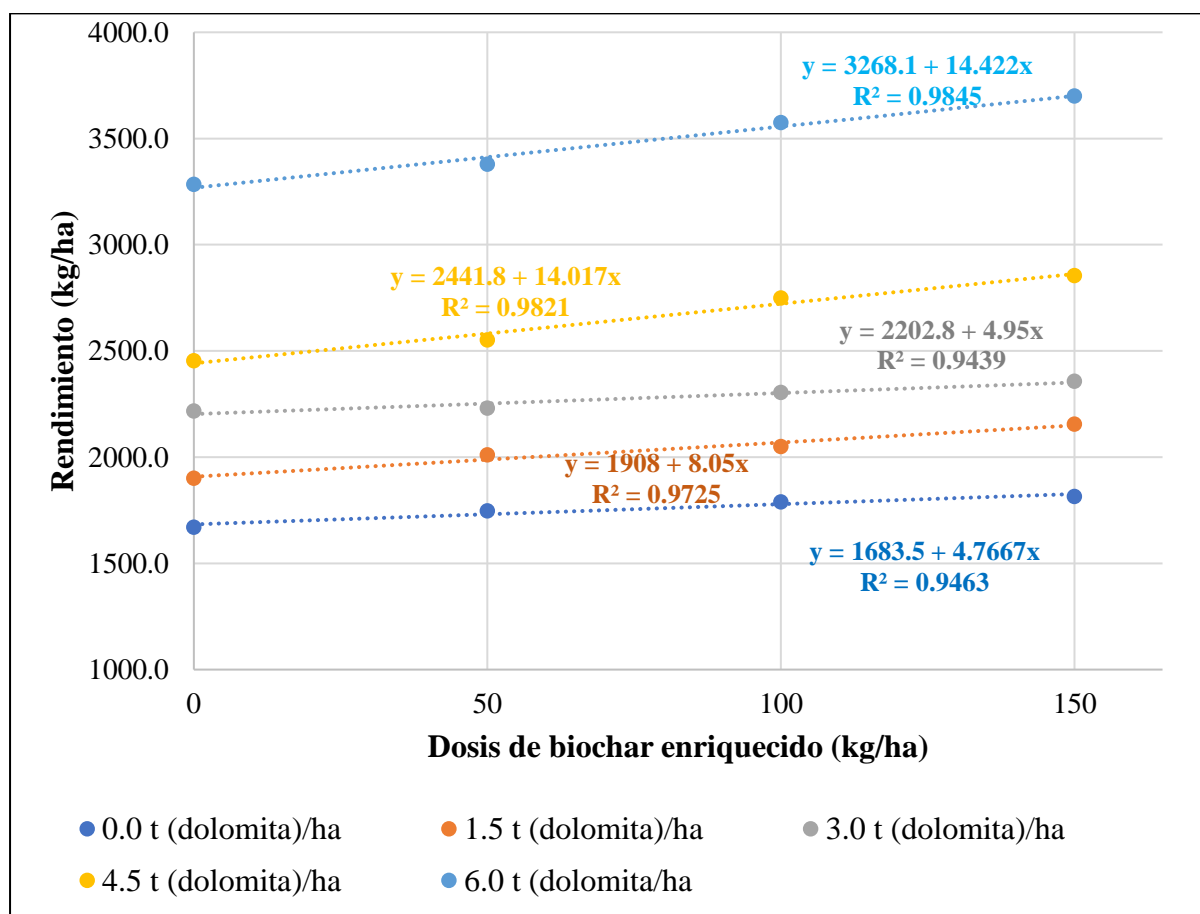


En la figura 3.5 se presenta el análisis de regresión lineal que describe la respuesta del rendimiento de grano pergamino seco del café frente a diferentes dosis de dolomita (t/ha), bajo cuatro niveles de biochar (0, 50, 100 y 150 kg/ha). Se observa que, para cada nivel de biochar, el rendimiento del café aumenta progresivamente a medida que se incrementa la dosis de dolomita, evidenciando una variación positiva en el rendimiento al aumentar las dosis de dolomita. Sin embargo, la influencia del biochar es menos marcada en comparación con la dolomita, lo que indica que el biochar tiene un efecto complementario, pero de menor magnitud sobre la productividad del cultivo.

Por otra parte, el gráfico también presenta las ecuaciones de regresión correspondientes a cada dosis de biochar, las cuales permiten estimar con precisión la cantidad de dolomita requerida para alcanzar un rendimiento determinado, lo que representa una herramienta útil para la planificación del abonamiento.

Figura 3.6

Isolíneas del rendimiento de grano pergamino seco del café Catimor en respuesta a las diferentes dosis de biochar

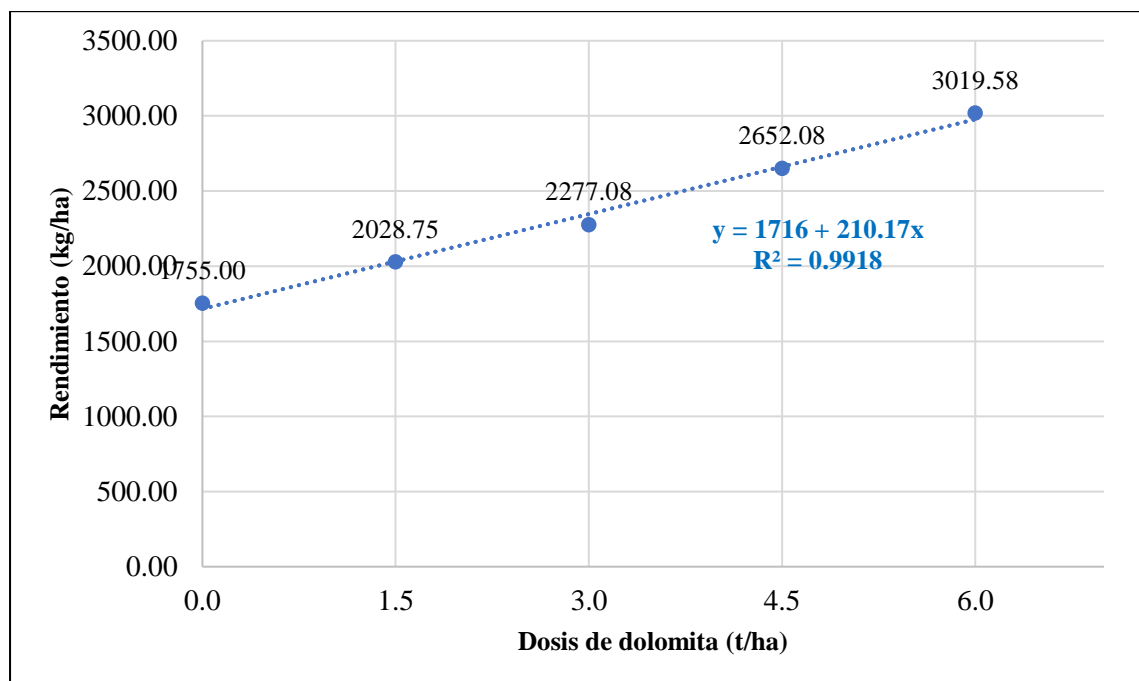


En la figura 3.6 se presenta el análisis de regresión lineal que describe la respuesta del rendimiento de grano pergamino seco del café frente a diferentes dosis de biochar (kg/ha), bajo cinco niveles de dolomita (0, 1.5, 3.0, 4.5 y 6.0 t/ha). Se observa que, para cada nivel de dolomita, el rendimiento del café aumenta progresivamente a medida que se incrementa las dosis de biochar. Sin embargo, aunque se evidencia una variación positiva en el rendimiento al incrementar las dosis de biochar, su efecto es menos marcado en comparación con la dolomita, lo que indica que la dolomita tiene una influencia más significativa y de mayor magnitud sobre la productividad del cultivo.

Por otra parte, el gráfico también presenta las ecuaciones de regresión correspondientes a cada dosis de dolomita, las cuales permiten estimar con precisión la cantidad de biochar requerida para alcanzar un rendimiento determinado, lo que representa una herramienta útil para la planificación del abonamiento.

Figura 3.7

Tendencia de rendimiento de grano pergamino seco del café por efecto de dosis de dolomita.

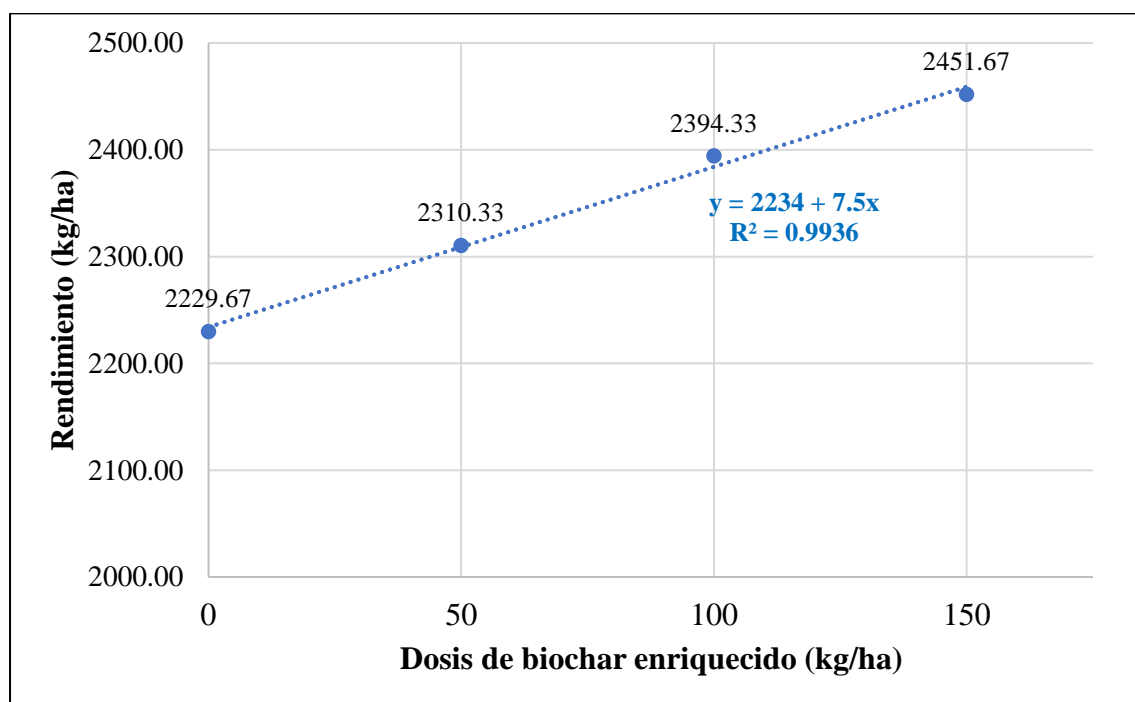


La figura 3.7, correspondiente al análisis de tendencia, muestra un aumento gradual en el rendimiento de grano pergamino seco del café en respuesta al incremento de las dosis de dolomita. Se observa que por cada 1.5 t/ha de dolomita aplicada, el rendimiento se incrementa aproximadamente en 210.17 kg/ha, lo que evidencia un efecto positivo y sostenido sobre la productividad. Además, la ecuación de la recta de regresión permite estimar con precisión la dosis de dolomita necesaria para alcanzar un rendimiento objetivo, lo que representa una herramienta útil para la planificación agronómica y optimización del abonamiento.

En la figura 3.8, se muestra al análisis de tendencia, evidenciando un aumento gradual en el rendimiento de grano pergamino seco del café en respuesta al incremento de las dosis de biochar. Se observa que por cada 50 kg (biochar)/ha aplicada, el rendimiento se incrementa aproximadamente en 7.5 kg/ha, lo que evidencia un efecto positivo y sostenido sobre la productividad. Además, la ecuación de la recta de regresión permite estimar con precisión la cantidad de biochar necesaria para alcanzar un rendimiento deseado, lo que representa una herramienta útil para la planificación agronómica y optimización del abonamiento.

Figura 3.8

Tendencia de rendimiento de grano pergamino seco del café por efecto de dosis de biochar enriquecido



3.2. Sobre la calidad del café

3.2.1. Calidad física

3.2.1.1. Humedad

El contenido de humedad ideal del café debe estar entre 10 % y 12 % para garantizar estabilidad y evitar deterioro. En los datos analizados (tabla 3.3) la media es de 12.8% con un margen de 0.21% lo que significa que el proceso de secado del grano no fue el más adecuado y esto podría favorecer el desarrollo de hongos o fermentaciones no deseadas a largo plazo, por lo tanto, no todas las muestras cumplen con este criterio.

3.2.1.2. Densidad aparente

En la tabla 3.3 se evidencia que todas las muestras tienen un valor uniforme de 704 g/L, lo que indica que poseen una alta densidad que generalmente se asocia con granos bien formados y de buena calidad, ya que indica mayor peso por volumen, lo cual es valorado tanto en el mercado como en la evaluación física del café.

Tabla 3.3*Resultados de la evaluación del análisis físico de los granos de café Catimor*

Tratamiento	Contenido de humedad (%)	Densidad aparente (g/l)	Rendimiento físico (%)	Cáscara y/o pergamino (%)	Coprodutos (%)	Defectos primarios (%)	Defectos secundarios (%)
T1	12.0	704.0	80.0	15.8	2.8	0.3	1.0
T2	12.7	704.0	79.7	15.7	3.6	0.5	0.5
T3	12.4	704.0	78.2	15.8	4.9	0.1	1.0
T4	13.0	704.0	76.7	16.5	5.2	0.0	1.7
T5	12.6	704.0	78.7	15.9	4.3	0.1	1.0
T6	12.9	704.0	78.6	15.8	4.3	0.3	1.0
T7	12.4	704.0	77.6	16.3	4.6	0.2	1.3
T8	12.6	704.0	78.6	16.7	3.0	0.3	1.3
T9	13.0	704.0	79.3	16.9	2.0	0.0	1.7
T10	12.8	704.0	77.4	16.7	3.8	1.0	1.1
T11	11.8	704.0	77.2	16.2	3.7	1.0	1.9
T12	12.4	704.0	80.3	16.0	2.2	0.7	0.7
T13	12.4	704.0	78.5	16.3	2.9	0.7	1.7
T14	11.9	704.0	80.7	16.2	1.2	0.1	1.7
T15	13.8	704.0	81.6	15.6	1.6	0.3	1.0
T16	12.3	704.0	81.0	15.6	2.4	0.3	0.7
T17	12.0	704.0	79.7	17.5	1.1	0.7	1.1
T18	13.2	704.0	81.5	15.1	1.3	1.0	1.1
T19	12.4	704.0	79.4	16.1	3.0	0.7	0.9
T20	12.6	704.0	81.2	15.7	1.6	0.3	1.2
\bar{x}	12.56	704.00	79.30	16.12	2.98	0.43	1.18
S	0.5	0.0	1.5	0.5	1.3	0.3	0.4
Merror	0.21	0.00	0.65	0.24	0.56	0.15	0.17
Ic 95%	12.35 - 12.77	704.0 - 704.0	78.65 - 79.95	16.12 ± 0.24	15.88 - 16.36	0.28 - 0.58	1.01 - 1.35

3.2.1.3. Defectos primarios

En la tabla 3.3 se muestra que el tratamiento T4 no tuvo defectos primarios, sin embargo, los tratamientos 10, 11 y 18 alcanzaron hasta un máximo de 1%; el promedio fue de 0.43%, con un intervalo de confianza del 95% entre 0.43 ± 0.15 % lo que indica una baja presencia de defectos graves como granos negros, fermentados o partidos. La baja incidencia de defectos primarios indica un buen manejo post cosecha, clave para la calidad física y comercial del café, ya que estos defectos disminuyen su calidad.

3.2.1.4. Defectos secundarios

Los valores observados en la tabla 3.3 son bajos, con un máximo de 1.9%. El contenido promedio de defectos secundarios fue de 1.18%, con un intervalo de confianza del 95% entre 1.01% y 1.35%, lo que refleja una ligera presencia de defectos menos severos como granos con cáscara, quebrados o inmaduros. Aunque no afectan tanto como los defectos primarios, su control es importante para mantener la uniformidad del lote y asegurar una buena aceptación en mercados exigentes.

3.2.1.5. Coproductos

En la tabla 3.3 se observa que el porcentaje promedio de coproductos fue de 2.98%, con un intervalo de confianza del 95% entre 2.41% y 3.53%, lo que indica una presencia moderada de subproductos como fragmentos de granos, pajillas, conchas, granos vanos, granos pequeños u otros materiales. Aunque no afectan directamente la calidad del café principal, un nivel bajo de coproductos refleja una mayor eficiencia en la trilla y una mejor selección del grano comercial.

En la tabla 3.4, se muestra el análisis de varianza de coproductos del café en el análisis sensorial, evaluados bajo el efecto de las dosis de dolomita, biochar enriquecido y su interacción; donde los resultados muestran diferencia estadística altamente significativa para los efectos principales y la interacción con un coeficiente de variabilidad del 9.74%, lo que indica un grado adecuado de homogeneidad entre las variables evaluadas.

Tabla 3.4

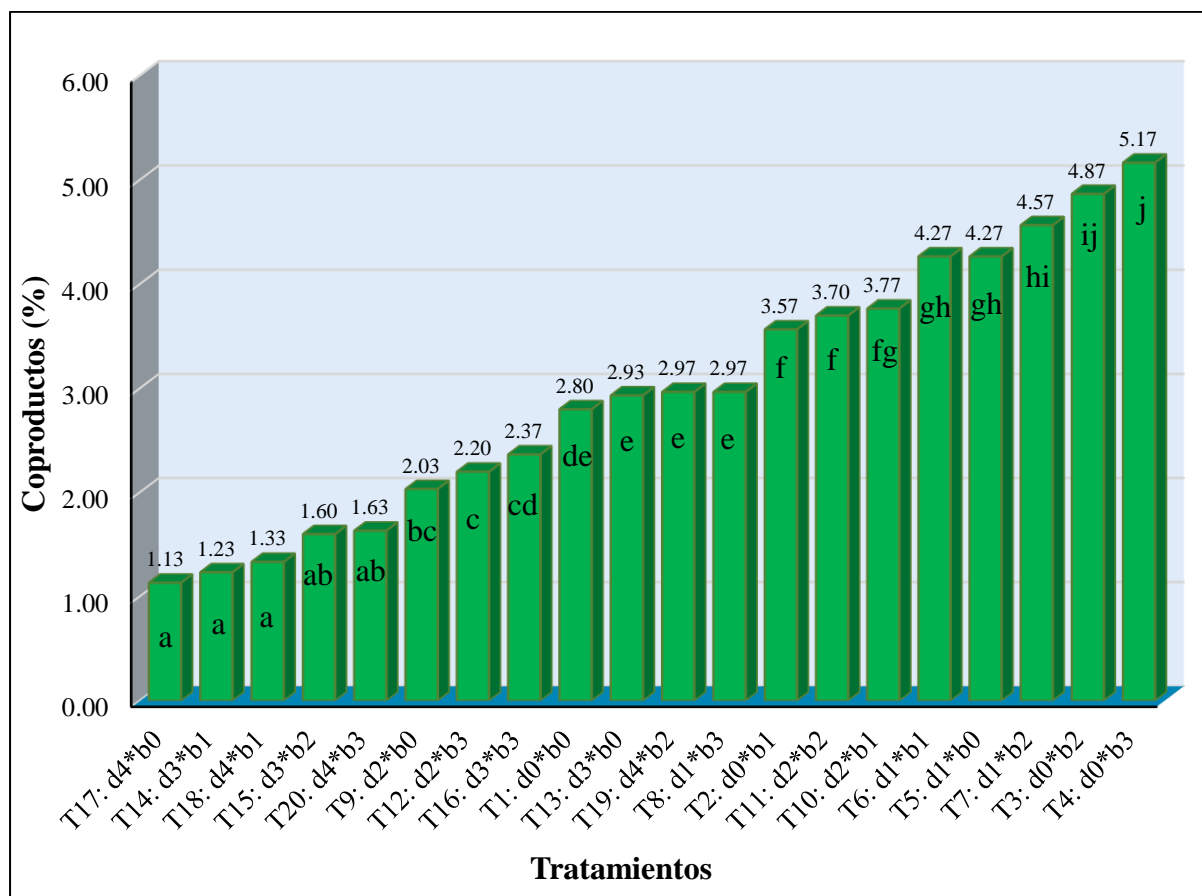
Análisis de varianza de coproductos del café en el análisis físico bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P - Valor
Bloque	2	0.53	0.27	3.19	0.523ns
Dolomita (D)	4	56.40	14.10	168.84	<0.0001**
Biochar (B)	3	7.01	2.34	28.0	<0.0001**
Interacción (D*B)	12	27.95	2.33	27.89	<0.0001**
Error	38	3.17	0.08		
Total	59	95.07			

CV (%) = 9.74

Figura 3.9

Prueba de Duncan (0.05) de coproductos del café en el análisis físico bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido



En la figura 3.9 de la prueba de Duncan ($p > 0.05$) se evidencia que el tratamiento T17 (d4*b0) presentó el valor más bajo de coproductos (1.13%), seguido por T14 (d3*b1) con 1.23%, y T18 (D4*B1) con 1.33% sin diferenciarse unos de otros. Estos tratamientos lograron minimizar la generación de residuos, lo cual indica un efecto positivo del uso de dolomita, especialmente a dosis altas, posiblemente por su influencia en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, que favorecieron un mejor desarrollo del cafeto que se manifiesta en lo más uniforme del grano.

En contraste, los tratamientos con mayor contenido de coproductos fueron T4 (d0*b3) con 5.17%, seguido de T3 (d0*b2) con 4.87% y T7 (d1*b2) con 4.57%, señalando una calidad inferior. En general, las combinaciones con d4 y b1 tienden a producir mejores resultados, mientras que las asociadas a d0 y b3 muestran mayor generación de coproductos.

En conjunto, estos resultados indican que el uso de dosis más altas de dolomita (d3 y d4) y biochar (b2 y b3) mejora notablemente la calidad física del café, mientras que las dosis bajas de dolomita (d0), combinadas con cualquier nivel de biochar, pueden comprometerla significativamente.

3.2.1.6. Cascarilla y/o pergamino

En la tabla 3.3 se muestra que los tratamientos obtuvieron un promedio de 16.12%, con un intervalo de confianza del 95% entre 15.88% y 16.36%, lo que indica una proporción estable de material residual proveniente del despulpado y secado del café. Este valor es característico del café pergamino bien procesado.

Tabla 3.5

Análisis de varianza de cascarilla y/o pergamino del café en el análisis físico bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P - Valor
Bloque	2	0.10	0.05	0.08	0.9245ns
Dolomita (D)	4	1.80	0.45	0.70	0.5969ns
Biochar (B)	3	2.92	0.97	1.51	0.2265ns
Interacción (D*B)	12	12.34	1.03	1.60	0.1339ns
Error	38	24.46	0.64		
Total	59	41.62			

CV (%) = 4.98

El análisis de varianza (tabla 3.5), indica que no hay diferencias significativas en las fuentes de variabilidad de las dosis de dolomita, biochar enriquecido y en la interacción de ambos.

3.2.1.7. Rendimiento físico

En la tabla 3.3 se observó un valor promedio de 79.30% de rendimiento físico del café, lo que indica una buena eficiencia en la conversión del grano; reflejando no solo una adecuada calidad del café pergamino, sino también un buen manejo en el secado y almacenamiento. Además, un mayor rendimiento físico se traduce en una mejor rentabilidad para el productor, ya que implica una mayor proporción de grano comercializable.

Tabla 3.6

Análisis de varianza del rendimiento físico del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

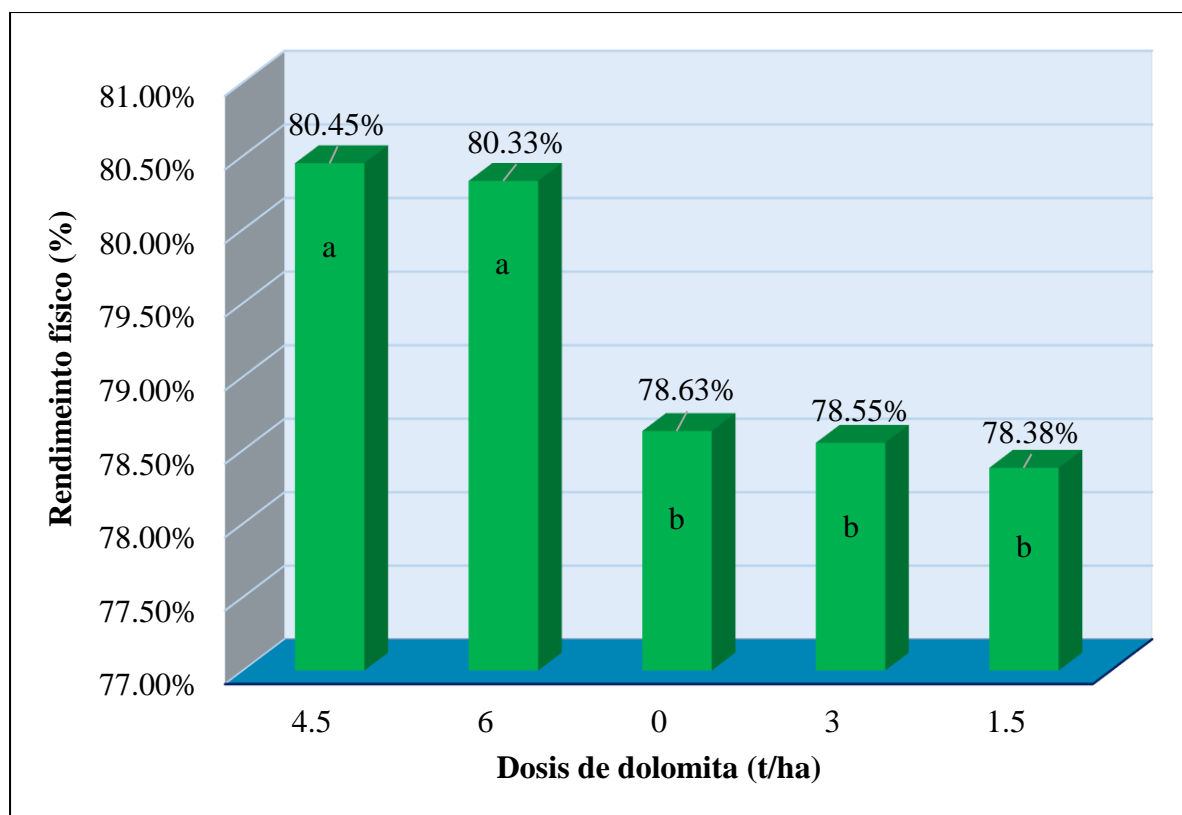
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P - Valor
Bloque	2	3.68	1.84	0.58	0.5643ns
Dolomita (D)	4	50.89	12.72	4.02	0.0081**
Biochar (B)	3	5.13	1.71	0.54	0.6576ns
Interacción (D*B)	12	61.66	5.14	1.62	0.1259ns
Error	38	120.22	3.16		
Total	59	241.58			

CV (%) = 2.24

En la tabla 3.6, se muestra el análisis de varianza del rendimiento físico del café, evaluados bajo el efecto de las diferentes dosis de dolomita, biochar enriquecido y su interacción; donde los resultados muestran diferencia estadística altamente significativa para el efecto del factor dolomita; lo que indica que la aplicación de este insumo influyó de manera significativa. Sin embargo, los efectos del biochar y la interacción no fueron significativos, con un coeficiente de variabilidad del 2.25%, lo que indica un grado adecuado de homogeneidad entre las unidades evaluadas.

Figura 3.10

Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento físico del café bajo el efecto de las dosis de dolomita



La prueba de Duncan aplicada para evaluar la influencia de los niveles de dolomita sobre el rendimiento promedio físico del café, se muestra en la figura 3.10 y se observa que los mayores rendimientos en grano oro se registraron con las dosis de 4.5 y 6.0 t/ha de dolomita, alcanzando valores de 80.45% y 80.33%, respectivamente. En cambio, las dosis de 0, 1.5 y 3.0 t/ha presentaron promedios de rendimiento físico de 78.65%, 78.38% y 78.55%, respectivamente, mostrando diferencias entre los tratamientos.

De manera similar, Gamboa et al. (2015) reportaron un rendimiento físico promedio de 79.5% en café variedad Caturra, evaluado en 19 fincas del municipio de Chachagüí, Colombia. El mayor rendimiento se obtuvo en la finca F14, con un valor de 80.6%, mientras que el menor se registró en la finca F4, con un rendimiento de solo 75.6% en grano oro o almendra. Esta variabilidad evidencia la influencia de las condiciones de manejo y fertilidad del suelo sobre la calidad física del grano de café.

Por su parte, Fajardo y Sanz (2004) reportaron un rendimiento físico de 80.29% en grano oro o almendra del café variedad Colombia, cuando se utilizó un proceso de beneficio ecológico (PE), en comparación con un rendimiento de 77.44% obtenido mediante un proceso tradicional (PT). Estos resultados evidencian que no solo las condiciones agronómicas, sino también el tipo de procesamiento postcosecha influyen significativamente en la calidad física del grano de café.

Estos resultados coinciden con estudios previos como los de Puerres (2001), quien señala que la aplicación de dolomita en suelos ácidos contribuye a mejorar la calidad y rendimiento del grano de café. Por lo tanto, el uso de dolomita representa una estrategia efectiva para optimizar la calidad del producto final, especialmente en regiones con suelos con alta acidez y deficiencia de calcio y magnesio.

3.2.2. *Calidad sensorial u organoléptica*

En la tabla 3.8 se evidencia que los resultados obtenidos muestran que el café evaluado bajo el efecto de dosis de dolomita y biochar enriquecido alcanzó un puntaje final promedio de 83.60 ± 0.659 , ubicándose dentro de la categoría de café especial. A nivel de atributos sensoriales, se destacan los puntajes constantes de uniformidad, taza limpia y dulzura (10.00 ± 0.00), lo cual evidencia una calidad sobresaliente en esos aspectos. Además, atributos como fragancia (7.775 ± 0.093), sabor (7.675 ± 0.124), sabor residual (7.575 ± 0.107), acidez (7.638 ± 0.103), cuerpo (7.575 ± 0.101) y balance (7.60 ± 0.09) presentan también altos niveles de calidad. Estos resultados fueron calculados con un intervalo de confianza del 95%, lo que permite estimar con seguridad estadística el rango dentro del cual se encuentra el valor real de cada atributo en la población evaluada, considerando la variabilidad de los datos y el tamaño de muestra.

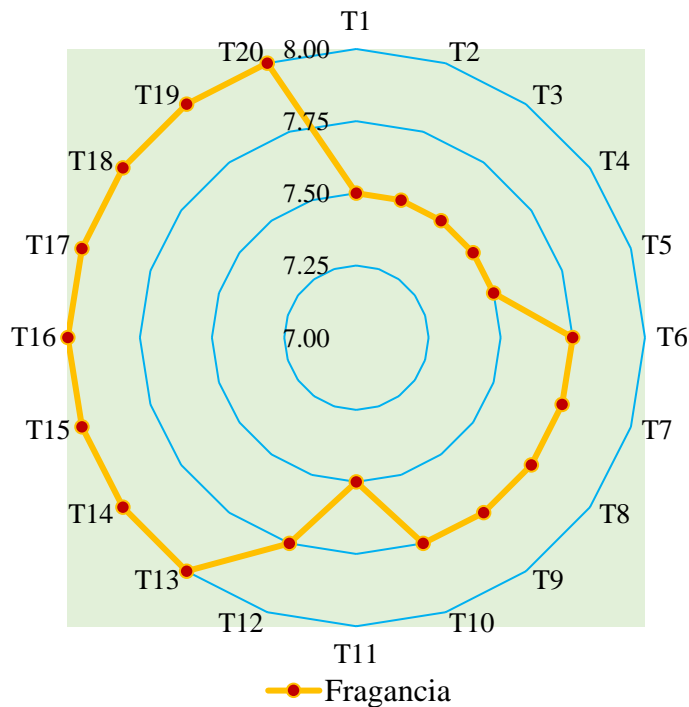
Tabla 3.7*Resultados de evaluación de calidad sensorial del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido*

Tratamiento	Fragancia	Sabor	Sabor residual	Acidez	Cuerpo	Balance	Uniformidad	Taza Limpia	Dulzura	Puntaje del catador	Puntaje final
T1	7.50	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	10.00	10.00	10.00	7.25	81.00
T2	7.50	7.50	7.25	7.25	7.25	7.25	10.00	10.00	10.00	7.50	81.50
T3	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.50	82.50
T4	7.50	7.50	7.50	7.25	7.25	7.25	10.00	10.00	10.00	7.50	81.75
T5	7.50	7.25	7.25	7.50	7.25	7.50	10.00	10.00	10.00	7.50	81.75
T6	7.75	7.50	7.25	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.50	82.50
T7	7.75	7.75	7.75	7.75	7.50	7.75	10.00	10.00	10.00	7.75	84.00
T8	7.75	7.75	7.75	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.75	83.50
T9	7.75	7.25	7.25	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.75	82.50
T10	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.50	10.00	10.00	10.00	7.75	84.00
T11	7.50	7.25	7.25	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.75	82.25
T12	7.75	7.75	7.50	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	7.75	84.00
T13	8.00	7.75	7.75	7.75	7.50	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	84.50
T14	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	84.75
T15	8.00	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.00
T16	8.00	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.00
T17	8.00	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.00
T18	8.00	8.00	8.00	8.00	7.50	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.25
T19	8.00	8.00	7.75	8.00	8.00	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.50
T20	8.00	8.00	7.75	8.00	8.00	8.00	10.00	10.00	10.00	8.00	85.75
\bar{x}	7.775	7.675	7.575	7.638	7.575	7.600	10.000	10.000	10.000	7.763	83.600
S	0.213	0.282	0.245	0.236	0.231	0.205	0.000	0.000	0.000	0.236	1.503
M error	0.093	0.124	0.107	0.103	0.101	0.090	0.000	0.000	0.000	0.103	0.659
Ic 95%	7.68 - 7.87	7.55 - 7.80	7.47 - 7.68	7.54 - 7.74	7.47 - 7.68	7.51 - 7.69	10.0 - 10.0	10.0 - 10.0	10.0 - 10.0	7.66 - 7.87	82.94 - 84.26

3.2.2.1. Atributo fragancia

Figura 3.11

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre el atributo fragancia en la calidad sensorial del café

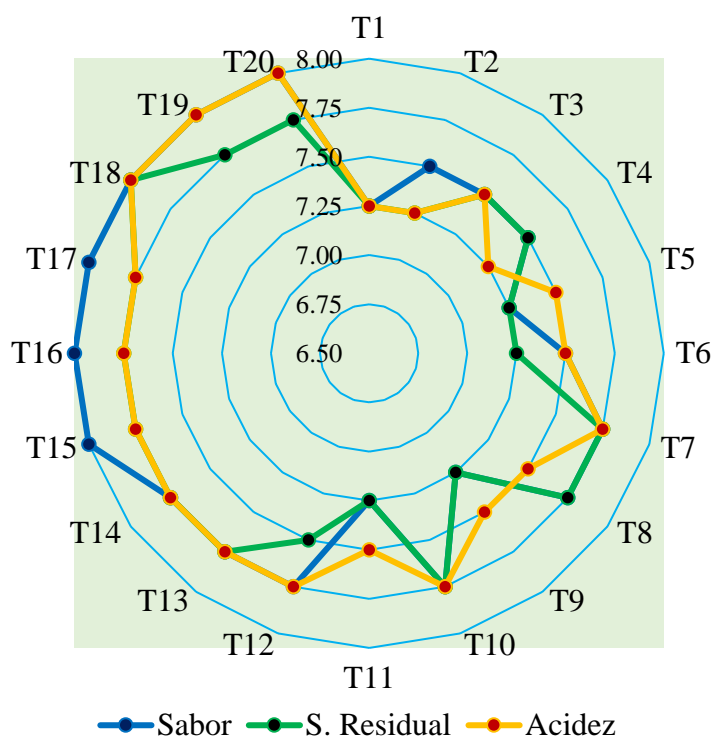


La figura 3.11 muestra la influencia de la aplicación de dolomita y biochar en el análisis sensorial del café. Los tratamientos T13 a T20, correspondientes a las dosis más altas de dolomita (4.5 y 6.0 t/ha), con o sin la adición de biochar, alcanzaron la mayor puntuación en fragancia (8.0), indicando una notable expresión aromática y agradable del café. En contraste, los tratamientos T1 a T5 y T11, que incluyeron el testigo y la aplicación exclusiva de biochar o la dolomita en menor dosis (1.5 t/ha), registraron las puntuaciones más bajas (7.5), lo cual refleja una fragancia menos destacada. Por su parte, los tratamientos T6 a T10 y T12, que combinaron dolomita (1.5 – 3.0 t/ha) con biochar, mostraron puntuaciones intermedias (7.75), lo que sugiere una mejora moderada en la fragancia. Estos resultados evidencian que el aumento en la dosis de dolomita, especialmente a partir de 4.5 t/ha, tuvo un efecto positivo sobre este atributo sensorial debido, posiblemente, a la mejora de la disponibilidad de nutrientes y actividad microbiana en el suelo que ha repercutido en el metabolismo de las plantas de café.

3.2.2.2. Atributos sabor, sabor residual y acidez

Figura 3.12

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre los atributos sabor, sabor residual y acidez en la calidad sensorial del café

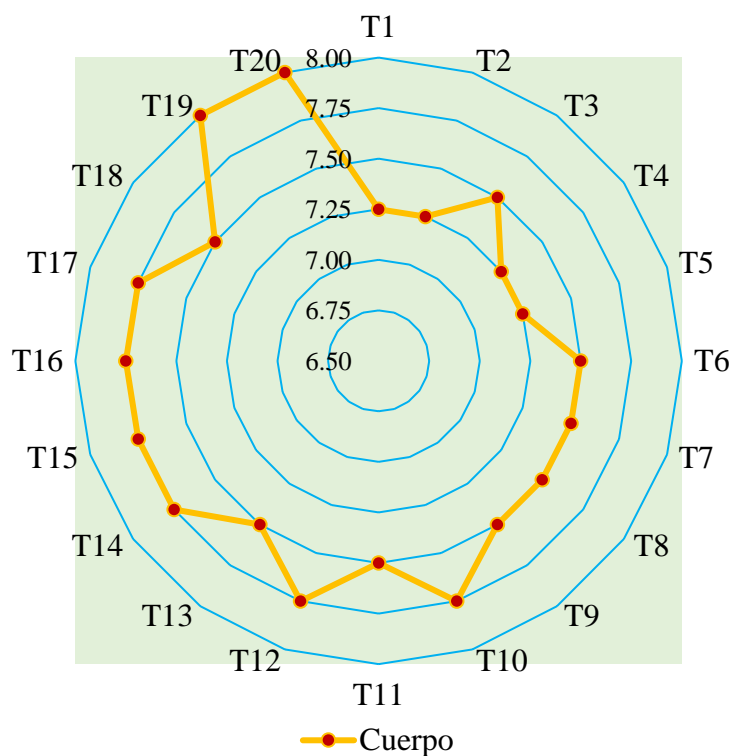


En la figura 3.12, que muestra la influencia de la aplicación de dolomita y biochar en la calidad sensorial del café referidos al sabor, sabor residual y acidez. Se observa que los tratamientos T18, T19 y T20 correspondientes a la aplicación de 6.0 t/ha de dolomita combinadas con 50, 100 y 150 kg (biochar)/ha registraron puntuaciones elevadas y consistentes en los atributos indicados, evidenciando un perfil sensorial superior, armónico y bien estructurado. En cambio, tratamientos como T10 y T11 con 3.0 t/ha de dolomita más 50 y 100 kg/ha de biochar mostraron valores intermedios, lo que sugiere una menor expresión de atributos positivos. Por otro lado, los tratamientos T1 a T6, que incluyen el testigo, biochar aplicado solo y dolomita en dosis bajas, presentaron las puntuaciones más bajas, indicando que ni el biochar solo ni la dolomita en menor dosis mejoran significativamente la calidad sensorial. Estos resultados resaltan que la combinación de dolomita y biochar, especialmente en dosis elevadas, tiene un efecto favorable sobre la expresión de atributos sensoriales clave en el café.

3.2.2.3. Atributo cuerpo

Figura 3.13

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre el atributo cuerpo en la calidad sensorial del café

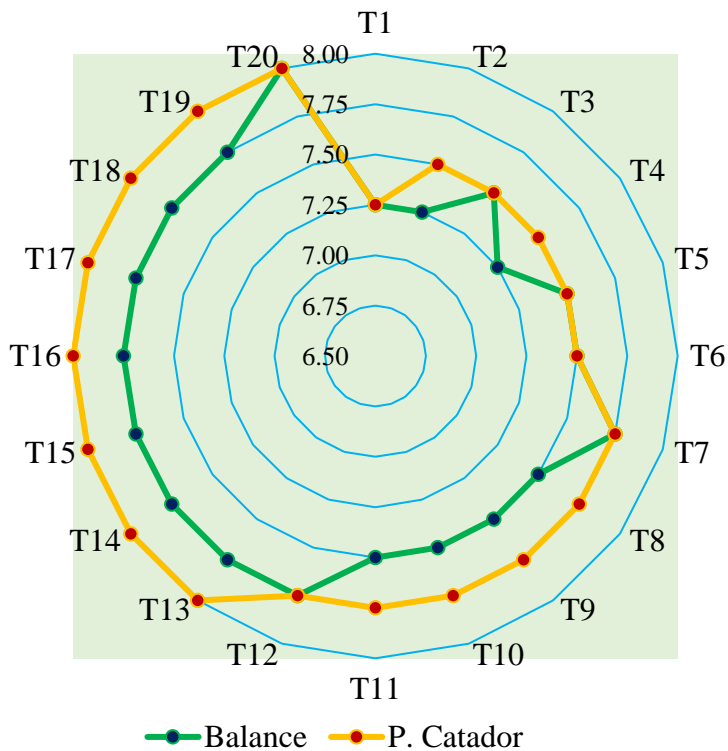


En la figura 3.13, muestra la influencia de la aplicación de dolomita y biochar sobre el cuerpo como atributo sensorial del café. Se observa que los tratamientos T19 y T20 (6.0 t/ha de dolomita más 100 y 150 kg (biochar)/ha, respectivamente) alcanzaron la puntuación más alta en el atributo cuerpo (8.0), lo que indica una sensación en boca más densa y estructurada. Los tratamientos T10, T12 y T14 a T17 lograron una puntuación de 7.75, reflejando un cuerpo bien desarrollado, pero ligeramente inferior. Por otro lado, los tratamientos T3, T6 a T9, T11 y T18 obtuvieron una puntuación de 7.50, representando un cuerpo moderado. Finalmente, los tratamientos T1, T2, T4 y T5, que corresponden al testigo, biochar solo o dolomita en baja dosis sin biochar, registraron las puntuaciones más bajas en este atributo, lo que sugiere una menor densidad en la bebida. En conjunto, los resultados indican que la combinación de dolomita en dosis altas (6.0 t/ha) con biochar, especialmente en dosis medias y altas, mejora significativamente la expresión del cuerpo en el perfil sensorial del café.

3.2.2.4. Atributo Balance y puntaje de catador

Figura 3.14

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre los atributos balance y puntaje del catador en la calidad sensorial del café



En la figura 3.14, se evidencia que la aplicación combinada de dolomita y biochar tiene una influencia positiva sobre los atributos sensoriales balance y puntaje del catador. El tratamiento T20 (6.0 t/ha de dolomita + 150 kg (biochar)/ha) alcanzó la puntuación más alta (8.00) en ambos atributos, reflejando una excelente armonía entre las características organolépticas del café y una elevada aceptación por parte del catador. Asimismo, los tratamientos T13 a T19, así como T12 y T7, registraron puntuaciones elevadas, con valores de 7.75 en balance y entre 7.75 y 8.00 en puntaje del catador, indicando un perfil sensorial equilibrado y agradable. Por otro lado, los tratamientos T3, T5 y T6 presentaron valores intermedios (7.50), mientras que T1, T2 y T4 obtuvieron las puntuaciones más bajas (7.25) en ambos atributos, lo que sugiere un café con menor integración sensorial y menor valoración general. Estos resultados confirman que las mayores dosis de dolomita, especialmente cuando se combinan con biochar, mejoran significativamente la calidad sensorial del café, destacando el tratamiento T20 como el más favorable.

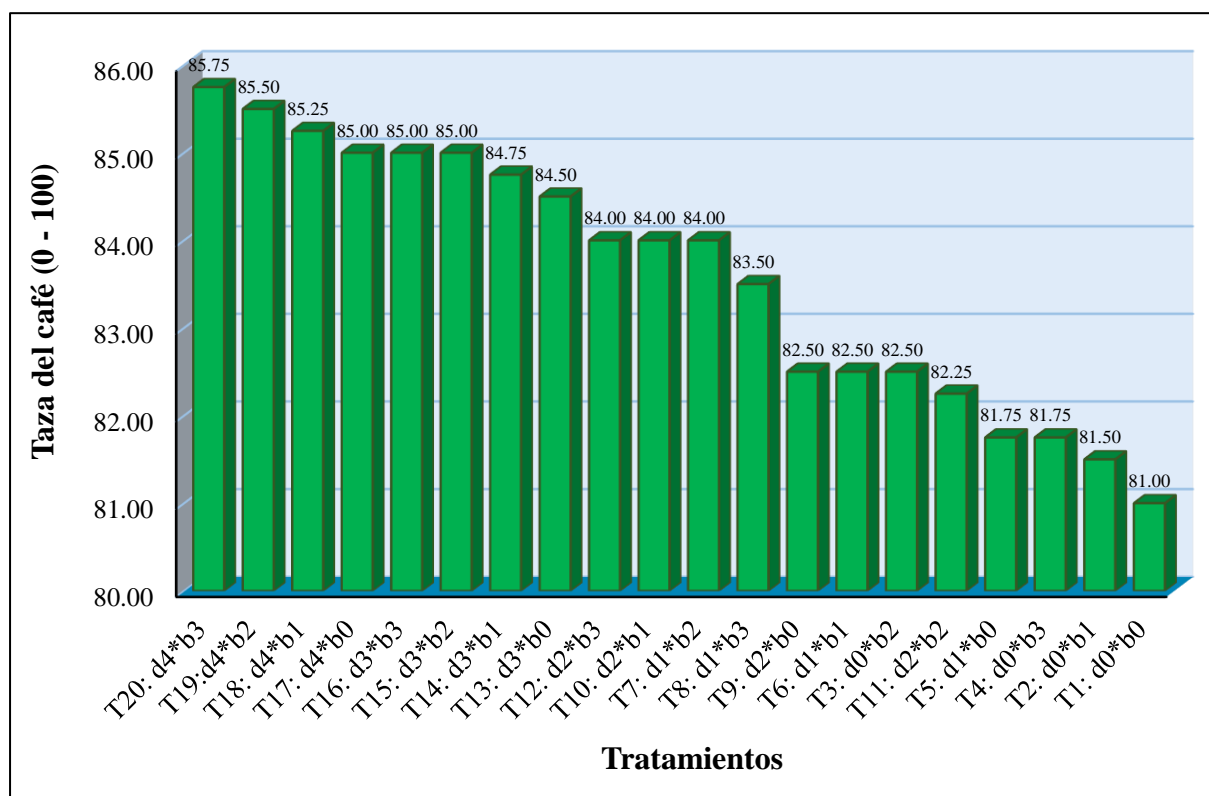
3.2.2.6. Atributos de uniformidad, taza limpia y dulzura

Los resultados de los atributos uniformidad, taza limpia y dulzura en el análisis sensorial del café (tabla 3.5), muestran una puntuación constante de 10.00 en todos los tratamientos evaluados (T1 a T20); lo que indica una alta calidad sensorial del café, sin defectos, con muestras consistentes y una marcada dulzura natural, características propias de un café especial.

3.2.2.7. Puntaje final en calidad sensorial del café

Figura 3.15

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre la calidad sensorial del café Catimor.



En la figura 3.15 se observa que el tratamiento T20 (d4*b3), que combinó 6.0 t/ha de dolomita con 150 kg/ha de biochar, alcanzó la mayor puntuación sensorial (85.75), evidenciando una clara sinergia positiva entre ambos insumos. Esto sugiere que las dosis altas de dolomita y biochar no solo son compatibles, sino que juntas potencian significativamente la calidad sensorial del café.

Por otra parte, cuando el biochar se aplicó de forma individual T2 (d0*b1) y T4 (d0*b3), la mejora en calidad sensorial fue leve; sin embargo, al combinarlo con dolomita (T16 o T20), su efecto fue notablemente superior. Esto indica que el biochar actúa de forma más efectiva como potenciador, especialmente cuando se integra con enmiendas que corrigen el pH y aportan nutrientes como la dolomita.

La dolomita aplicada por sí sola también mejoró la calidad sensorial del café, particularmente a dosis altas (T17, con 85.00 puntos), gracias a su capacidad para corregir la acidez del suelo y aportar calcio y magnesio. Sin embargo, su efecto fue menor en comparación con las combinaciones con biochar, lo que evidencia que su impacto puede optimizarse al integrarse con materia orgánica estructurada. Por último, el tratamiento testigo (T1) obtuvo la menor puntuación (81.00), y tanto el biochar aplicado solo (T2–T4) como la dolomita a dosis bajas (T5) no produjeron mejoras significativas. Esto indica que, por separado y en bajas cantidades, estos insumos tienen una capacidad limitada para influir en la calidad sensorial del café, resaltando la importancia de combinarlos y ajustar sus dosis para obtener resultados óptimos.

En comparación con otros estudios, Reyes (2018) reportó promedios de calidad en taza de 82.94 puntos bajo un proceso de fermentación cerrada y 81.81 en fermentación abierta en la variedad Catuaí, cultivado a una altitud de 1390 m.s.n.m. - Honduras. Por otro lado, en la variedad Paraimena obtuvo puntajes de 84.75 y 83.56 bajo fermentación cerrada y abierta, respectivamente.

Cabe destacar, que Márquez-Romero et al. (2020), reportaron un promedio de 82.17 puntos en la calidad de taza, donde el puntaje más bajo correspondió a la variedad Catimor, con 76.5 puntos, mientras que el valor más alto se obtuvo con la variedad Typica, alcanzando los 84.76 puntos; cultivados a una altitud de 1307 m.s.n.m. en la provincia de La Convención - Cusco.

Oscoco et al. (2020) señalaron que las variedades Caturra y Bourbon cultivados a una altitud de 1234 m.s.n.m en la provincia de Chanchamayo - Junín. alcanzaron una calificación sensorial de 85.0 puntos, clasificándolas como cafés especial. En contraste, la variedad Geisha obtuvo un puntaje de 78.0, lo que la ubicó dentro de la categoría de café no especial, evidenciando cómo la calidad en taza puede variar significativamente según la variedad genética del cultivo.

Cabe mencionar que Vigoria (2024) reportó una puntuación de 84.2, 84.3 y 85.0 puntos en calidad de taza bajo el efecto de tiempos de fermentación de 24, 40 y 50 horas, respectivamente, en café de la variedad Geisha cultivado en el distrito de Inkawasi, provincia de La Convención, región Cusco.

Por su parte, Escalante (2023) reportó puntuaciones de 84.00 puntos con el método de beneficio húmedo, 85.00 puntos mediante el beneficio honey y 86.02 puntos con el beneficio seco o natural, al evaluar los diferentes métodos de beneficio del café en el distrito de Kimbiri, región del VRAEM – Ayacucho.

Cabe destacar que la calidad en taza del café está determinada por una combinación de factores genéticos, agroecológicos y de manejo. La variedad del cafeto influye en los compuestos responsables del aroma, sabor y cuerpo, mientras que condiciones como la altitud, el clima y el tipo de suelo afectan la maduración y concentración de azúcares y ácidos. Prácticas agronómicas adecuadas, especialmente un abonamiento equilibrado y una cosecha selectiva de granos maduros, son fundamentales para preservar la calidad. Además, el proceso post cosecha incluyendo el despulpado, fermentación, lavado y secado tiene un impacto directo en el perfil sensorial. El método de beneficiado, el nivel de tostado y la forma de preparación también influyen en los atributos percibidos en la taza (Reyes, 2018).

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la aplicación combinada de dolomita y biochar mejora significativamente la calidad sensorial del café, posicionándolo dentro de la categoría de café especial. Esta mejora en calidad no solo refleja un avance agronómico importante, sino que también tiene un impacto directo en el valor comercial del producto.

En consecuencia, la inversión en dosis adecuadas de dolomita y biochar constituye una estrategia rentable para los caficultores que desean mejorar la calidad de su producto y acceder a nichos de mercado de café especial.

3.3. Análisis económico

3.3.1. Ingreso bruto (S/. ha)

El ingreso bruto de cada tratamiento en el cultivo de café se muestra en la tabla 3.8, destacándose el tratamiento T₁₉, que alcanzó el mayor rendimiento y calidad, lo que se reflejó en el ingreso bruto más elevado respecto a los demás tratamientos.

Tabla 3.8

Rendimiento, precio de venta e ingreso bruto en la producción del cultivo de café

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Taza del café	Precio (S/. kg)	Ingreso bruto (S/. ha)
T ₁	1670.00	81.00	12.00	20040.00
T ₂	1746.67	81.50	12.00	20960.00
T ₃	1788.33	82.50	12.00	21460.00
T ₄	1815.00	81.75	12.00	21780.00
T ₅	1900.00	81.50	12.00	22800.00
T ₆	2010.00	82.50	12.00	24120.00
T ₇	2050.00	84.00	12.00	24600.00
T ₈	2155.00	83.50	12.00	25860.00
T ₉	2216.67	82.50	12.00	26600.00
T ₁₀	2230.00	84.00	12.00	26760.00
T ₁₁	2305.00	82.00	12.00	27660.00
T ₁₂	2356.67	84.00	12.00	28280.00
T ₁₃	2453.33	84.50	12.00	29440.00
T ₁₄	2551.67	84.75	12.00	30620.00
T ₁₅	2748.33	85.00	12.00	32980.00
T ₁₆	2855.00	85.00	12.00	34260.00
T ₁₇	2908.33	85.00	12.00	34900.00
T ₁₈	3013.33	85.25	12.00	36160.00
T ₁₉	3080.00	85.50	12.00	36960.00
T ₂₀	3076.67	85.75	12.00	36920.00

3.3.2. Costo total de producción (S/. ha)

La tabla 3.9, muestra el costo total de producción por hectárea de cada tratamiento en el cultivo de café, observándose que los valores no presentan diferencias significativas, dado que el manejo y la conducción de los tratamientos fueron uniformes, variando únicamente los niveles de dolomita y biochar. El tratamiento T20 registró el mayor costo de producción, debido a la aplicación de cantidades superiores de material encalante y biochar enriquecido.

Tabla 3.9

Costo directo, indirecto y total en la producción del cultivo de café

Tratamiento	Costo directo (S/. Ha)	Costo indirecto (S/. Ha)	Costo total (S/. Ha)
T ₁	7582.00	594.35	8176.35
T ₂	8082.00	619.35	8701.35
T ₃	8282.00	629.35	8911.35
T ₄	8432.00	636.85	9068.85
T ₅	8782.00	654.35	9436.35
T ₆	9332.00	681.85	10013.85
T ₇	9532.00	691.85	10223.85
T ₈	9832.00	706.85	10538.85
T ₉	9832.00	706.85	10538.85
T ₁₀	10232.00	726.85	10958.85
T ₁₁	10482.00	739.35	11221.35
T ₁₂	10682.00	749.35	11431.35
T ₁₃	10782.00	754.35	11536.35
T ₁₄	11332.00	781.85	12113.85
T ₁₅	11782.00	804.35	12586.35
T ₁₆	12132.00	821.85	12953.85
T ₁₇	12182.00	824.35	13006.35
T ₁₈	12682.00	849.35	13531.35
T ₁₉	12882.00	859.35	13741.35
T ₂₀	12982.00	864.35	13846.35

3.3.3. Ingreso neto (S/. ha)

En la tabla 3.10 se muestra el ingreso neto de producción del cultivo de café, destacándose el tratamiento T19, el cual alcanzó el mayor ingreso neto, con un valor de S/. 23,218.65 por hectárea.

Tabla 3.10

Ingreso neto en la producción del cultivo de café

Tratamiento	Ingreso bruto (S/. ha)	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha)
T ₁	20040.00	8176.35	11863.65
T ₂	20960.00	8701.35	12258.65
T ₃	21460.00	8911.35	12548.65
T ₄	21780.00	9068.85	12711.15
T ₅	22800.00	9436.35	13363.65
T ₆	24120.00	10013.85	14106.15
T ₇	24600.00	10223.85	14376.15
T ₈	25860.00	10538.85	15321.15
T ₉	26600.00	10538.85	16061.15
T ₁₀	26760.00	10958.85	15801.15
T ₁₁	27660.00	11221.35	16438.65
T ₁₂	28280.00	11431.35	16848.65
T ₁₃	29440.00	11536.35	17903.65
T ₁₄	30620.00	12113.85	18506.15
T ₁₅	32980.00	12586.35	20393.65
T ₁₆	34260.00	12953.85	21306.15
T ₁₇	34900.00	13006.35	21893.65
T ₁₈	36160.00	13531.35	22628.65
T ₁₉	36960.00	13741.35	23218.65
T ₂₀	36920.00	13846.35	23073.65

3.3.4. Rentabilidad

En la tabla 3.11 se presenta la relación beneficio/costo del cultivo de café, observándose que en todos los tratamientos este valor supera 1, lo que indica que el cultivo de café, con la incorporación de la dolomita y biochar enriquecido, resulta rentable. El tratamiento T19, con la aplicación de 6 t/ha de dolomita más 150 kg/ha de biochar enriquecido por planta, obtuvo la mayor relación beneficio/costo, con un valor de 1.69. Esto significa que por cada sol invertido se recuperan S/. 1.69, lo que representa el excedente económico derivado de la producción de una hectárea de café.

Tabla 3.11

Rentabilidad en el cultivo de café expresado en beneficio/costo

Tratamiento	Costo total de producción (S/. ha ⁻¹)	Ingreso neto (S/. ha ⁻¹) (Beneficio)	Rentabilidad (B/C)
T ₁	8176.35	11863.65	1.45
T ₂	8701.35	12258.65	1.41
T ₃	8911.35	12548.65	1.41
T ₄	9068.85	12711.15	1.40
T ₅	9436.35	13363.65	1.42
T ₆	10013.85	14106.15	1.41
T ₇	10223.85	14376.15	1.41
T ₈	10538.85	15321.15	1.45
T ₉	10538.85	16061.15	1.52
T ₁₀	10958.85	15801.15	1.44
T ₁₁	11221.35	16438.65	1.46
T ₁₂	11431.35	16848.65	1.47
T ₁₃	11536.35	17903.65	1.55
T ₁₄	12113.85	18506.15	1.53
T ₁₅	12586.35	20393.65	1.62
T ₁₆	12953.85	21306.15	1.64
T ₁₇	13006.35	21893.65	1.68
T ₁₈	13531.35	22628.65	1.67
T ₁₉	13741.35	23218.65	1.69
T ₂₀	13846.35	23073.65	1.67

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

1. Con la aplicación de 6 t (dolomita)/ha se obtuvo el mayor rendimiento de café pergamino seco alcanzando 3019.58 kg/ha, además se logró incrementar en 210.16 kg/ha de café pergamino por cada nivel de dolomita. El mayor peso de mil semillas (208.33 g) con la dosis de 6 t (dolomita)/ha junto con 150 kg (biochar)/ha.
2. La mejor calidad física del café se logra con la adición de 4.5 t (dolomita)/ha con 80.45%, mientras que el menor porcentaje de coproductos (1.13%) se obtiene con la incorporación de 6 t (dolomita)/ha. Los demás atributos no tienen mayor variación según los tratamientos.
3. La mejor calidad sensorial u organoléptica se logra, de manera general, con la aplicación de 6 t (dolomita)/ha junto a 150 kg (biochar)/ha con 85.75 puntos que lo define en la categoría de café especial “excelente”.
4. La mayor relación beneficio/costo en el cultivo de café se obtuvo con la aplicación de 6 t (dolomita)/ha más 100 kg (biochar enriquecido)/ha, alcanzando un valor de 1.69 nuevos soles.

RECOMENDACIONES

- 1.** Se recomienda la aplicación de 4.5 t (dolomita)/ha más 100 kg de biochar enriquecido por hectárea para condiciones similares agroclimáticas y cultivo al haber generado mayores rendimientos de grano pergamino seco, mejor calidad en taza y una mayor rentabilidad del cultivo de café.
- 2.** Se recomienda considerar la dolomita como una enmienda eficaz para suelos ácidos, debido a su efecto favorable en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- 3.** Se sugiere llevar a cabo estudios complementarios que analicen el efecto a largo plazo del encalado con dolomita sobre la fertilidad del suelo y la sostenibilidad del cultivo de café.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, R. P. (2019). Efectividad de enmiendas calcáreas en suelos cacaoteros contaminados con cadmio en la Amazonía peruana. Universidad científica del sur.
- Armijos Villavicencio, A. E. (2020). Análisis de la relación genotípico ambiente con seis variedades de café (*coffea spp.*) en la granja experimental santa Inés. Machala: UTMACH.
- Asociación española de café (2024). El ABC de la cata de café: ¿Qué es lo que realmente se evalúa de un buen café? <https://www.asociacioncafe.com/cata-cafe/>
- Blade, Z. A. (2020). Manual de enmienda para aplicación de cal dolomita. Abonos con agrícola. <https://abonosconagricola.com/PDF/DOCUMENTOS-PAGINA-WEB/ASESORIA-TECNICA/Manual-Cal-Dolomita.pdf>
- Borras Latorre, N. (2021). Guía para producir biochar en sistemas agrosilvopastoriles mediterráneos. LIFE REGENERATE. https://regenerate.eu/upload/file/2022_03_05_guias-buenas-practicas-esp/guia-para-producir-biochar-en-sistemas-agrosilvopastoriles-mediterraneos.pdf
- Calva, C., & Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. Universidad Central del Ecuador, Ecuador, 4(5), 20. doi: <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.505>
- Campillo R., R., & Sadzawka R., A. (2010). Encalado de los suelos. Caracterización y manejo de enmiendas calcáreas.
- Cargua Chávez, J. E., Luna Tamayo, A. K., González Sanango, H., Cedeño García, G. A., & Cedeño Sacón, Á. F. (2022). Crecimiento y calidad de plantas de café arábica con la aplicación de biochar y biofertilizantes en vivero. Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia (9), 12. doi: <https://doi.org/10.29393/CHJAAS38-1CCJA50001>
- Carvajal, K. G., & Gómez, C. A. (2016). Efecto de la aplicación de cal dolomita sobre el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño en suelos de uso agrícola, Zamorano, Honduras. Zamorano, Honduras: Universidad Zamorano.
- Castellanos, J. Z. (2014). La acidez del suelo y su corrección. Hojas técnicas de Fertilab, México. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo>

- Castro Fabian, J. C. (2010). *Efecto de diferentes dosis de dolomita en la neutralizacion del aluminio intercambiable en un suelo muy acido de Supte San Jorge*. Tingo Maria, Perú: Universidad nacional agraria de la selva. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1101/TS_JCCF_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castro, H. & Munevar. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA* (2), 8.
- Cuya Curo, E. (2013). Asistencia técnica en cosecha y postcosecha en el cultivo de café. San Martín, Perú.
- Desco. (2012). Manual técnico de producción de cafés especiales. Programa selva central. Obtenido de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/01/manual-cafe_selva_VF.pdf
- Domenech, L. (2023). Dolomita (mineral): Qué es, formación, propiedades y usos. DIMATERIA. <https://dimateria.com/minerales/dolomita>
- Duicelia, L., Corral, R., Farfan, D., Vreduga, C., Palma, R., Macias, A., . . . Romero, F. (2010). Influencia de métodos de beneficio sobre la calidad organoléptica del Café Arábigo. Ecuador: COFENCAC y SIGA.
- Dvorackova, H., Záhora, J., Pospíšilová, L., & Vlček, V. (2021). Potencial de biocarbón después de su activación biológica por microflora nativa del suelo (Vol. 26). República Checa: Revista MVZ Córdoba.
- Escalante, Ñ. L. (2023) Influencia de métodos de beneficio post cosecha en la calidad física y organoléptica de granos de café Catimor (*Coffea arabica* L.) VRAEM.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34.
- Espinosa, J., & Molina, E. (2015). *Acidez y Encalado de los Suelos*. primera edición. doi:10.13140/2.1.3888.9281
- Espinoza, N. D. (2019). *Efecto de cuatro dosis de dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo en una plantacion de Schizolobium parahyba var. amazonicum "pino*

chuncho" en Antonio Raimondi - Las Vegas - Daniel Alomia Robles. Tingo Maria, Perú: Universidad nacional agraria de la selva.

Fajardo Peñaa, F., & Sanz Uribe, J. R. (2004). La calidad física y el rendimiento del café en los procesos de beneficio tradicional y beneficio ecológico (BECOLSUB). *Cenicafé*, 8. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/419/1/avt0323.pdf>

FAO, (2023). Organización de naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Portal de Suelos de la FAO: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>

Federación Nacional de Cafeteros (FNC). (2022). Aprenda a vender su café. Colombia. Obtenido de <https://federaciondecafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/>

Figuerola Hernández, E., Pérez Soto, F., & Godínez Montoya, L. (s/f). La producción y consumo del café. ECORFAN. Obtenido de https://www.ecorfan.org/spain/libros/LIBRO_CAFE.pdf

Gamboa Rosero, P. Y., Mosquera Sánchez, S. A., & Paz Narváez, v. E. (2015). Caracterización física de café especial (*Coffea Arabica*) en el municipio de Chachagüí (Nariño, Colombia). *Revista lasallista de investigacion*, 12(1), 9. <https://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/rldi/article/view/793/546>

García Montero, R., Pizarro Medina, P., Rodríguez Rastrero, M., Sierra Herráiz, M. J., Guirado Torres, M., & Millán Gómez, R. (2021). Biochar y sus aplicaciones potenciales en el suelo. *Técnica Industrial*, marzo 2021, 328: 44-53, 10. doi:10.23800/10503

ICO. (2022). Aspectos botánicos del café. Obtenido de Organization International Coffee: https://ico.org/ES/botanical_c.asp

INIA, (2024). Manual de encalado de suelos ácidos. Ministerio de desarrollo agrario y riego. file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Arevalo_et-al_2024_manual_suelos.pdf

Instituto del café de Costa Rica. (2011). Guía técnica para el cultivo de café. Instituto del café de Costa Rica.

Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. (2019). Manual de producción sostenible del café. José Miguel Romero, Josefina Camilo.

- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Front. Ecol. Environ.* 5: 381-387.
- Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J.O. Skjemstad, J. Thies, F.J. Luizao, J. Petersen, and G. Neves. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1719-1730.
- Llobet Toledo, A. (2021). *Los índices de rentabilidad en la producción del café*. (C. d. cafecultura, Ed.) Guatemala: ANACAFÉ. https://www.anacafe.org/uploads/file/cecb5bbb96a143bdac5b461d5748974e/02_Alvaro_Llobet_Indices-de-Rentabilidad.pdf
- López, B. W., Hernández, U., Reynoso, S., & Martínez-Sánchez, J. (2018). Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*coffea arabica* L.) en la reserva de la biosfera el triunfo, Chiapas, México. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, 11(4), 55 - 60.
- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de bebida. *Cenicafé*, 54(4), 297 - 315. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/254/1/arc054%2804%29297-315.pdf>
- Márquez-Romero, F. R., Huamán, S., Carrión Sánchez, H. M., Peña Valdeiglesias, J., & Cabrera Márquez, S. (2020). Caracterización de la calidad física y sensorial de café de Cirialo – La Convención Cusco-Perú. *Rev. Tayacaja*, 3(2), 40-52.
- Martínez Álvarez, M. (2011). La cata del café. *Fórumcafé*. doi: https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-35_la_cata_de_cafe.pdf
- MIDAGRI. (2022). Cultivo de café (*Coffea arábica*). Ministerio de agricultura y riego
- Milla-Pino, M. E., Oliva-Cruz, S. M., Leiva-Espinoza, S. T., Collazos-Silva, R., Gamarral-Torres, O. A., Barrena-Gurbillón, M. Á., & Maicelo-Quintana, J. L. (2019). Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra. *SciELO*, 4(68). <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.70496>
- Moorberg, C., & Crouse, D. (2022). Soils laboratory manual: Acidez del Suelo y Ajuste del pH del Suelo. Kansas State University via Prairie Press, 5(92), 113.
- Norma Técnica Peruana. (2019). Cafés especiales, requisitos- Guía de implementación de la Norma Técnica Peruana. Perú: Dirección de Normalización - INACAL.

- Ortez Amador, O. A., & Zavala González, A. S. (2014). Efecto de enclamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Oscó Medina, I., Roldán Ccoycca, E. P., Quispe Murga, E., Camacho Villalobos, A., Marmolejo G., D., & Marmolejo G., K. J. (2020). Selección, identificación y zonificación de café (*Coffea arabica* L.) por su adaptabilidad, rendimiento, calidad sensorial y resistencia a plagas y enfermedades. *Agroindustrial Science*, 10(3), 249 - 257 . <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.05>
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes (Vol. 4). Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal.
- Osorio, V. (2021). La Calidad del Café. Guía más agronomía, más productividad, más calidad, Centro nacional de investigación de café CENICAFE, Colombia. doi: https://doi.org/10.38141/10791/0014_12
- Pajuelo, I., & Huerta, L. (2020). Caracterización de un paquete tecnológico para el procesamiento de café verde peruano con características de cafés especiales para exportación. Lima- Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Pentón Fernández, G., Milera Rodríguez, M. d., Peter Schmidt, H., & Armengol López, N. (2021). Manual para la elaboración de biochar y microorganismos eficientes IHPLUS®BF. ResearchGate, 32.
- Perfect Daily Grind. (2021). Comprender la densidad del grano de café. Portugal. Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/2021/08/understanding-coffee-bean-density/>
- Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras. Tegucigalpa, Honduras: Dirección de ciencia y tecnología agropecuaria.
- Puerres, D. C. (2001). *Efecto de bioabono edáfico sobre los componentes de rendimiento y calidad en el cultivo de café (Coffea arabica L., variedad Colombia), en el municipio de Consaca departamento de Nariño*. Colombia: Universidad de Nariño.
- Quiñónez León, B. S., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (2021). Biochar: aplicaciones y efectos en combinación con fertilizantes minerales en 3 variedades de café (*Coffea sp.*) en la provincia del El Oro. Científica Agroecosistemas, 9(2), 9.

- Reyes Henriquez, W. M. (2018). *Evaluación física y calidad de taza de dos variedades de café en dos condiciones de almacenamiento*. Zamorano, Honduras : Escuela Agrícola Panamericana.
- Rodríguez Garay, F. A. (2015). *Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en rendimiento y calidad de Café*. Universidad Nacional de Colombia.
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo una limitación común para la producción del café. *Avances técnicos cenicafé* (13), 12.
- Sadzawka, R. A., & Campillo R., R. (s/f). *Acidificación de los suelos y los procesos involucrados*. Instituto de investigaciones Agropecuarias.
- Sánchez Reinoso, A. D. (2022). *Rendimiento y estado nutricional del café (Coffea arabica L.) en respuesta aplicación de biocarbón*. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.
- Schmidt, H. P. and K. Wilson. (2014). The 55 uses of biochar, the Biochar Journal 2014, Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114. www.biochar-journal.org/en/ct/2. Version of 12 th May 2014. Accessed: 07.07.2016
- Sela, G. (2023). *Fertilización y riego. Teoría y mejores prácticas*. Cropaia. <https://cropaia.com/wp-content/uploads/Indice-libro-fertilizacion-y-riego-2023.pdf>
- Soriano, M. D. (2018). *pH del suelo (Producción Vegetal ed.)*. Universitat Politècnica de Valencia.
- SCA. (2019). *SCAA Protocols | Cupping Specialty Coffee*. Specialty Coffee Association <http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>
- Valdizón Winter, E. G. (2023). *Evaluación técnica de la pirólisis de cascarilla de café para la producción de biochar y bioaceite*. Universidad de Guatemala
- Vermiduro, (2024). *Dolomita en agricultura ecológica: Un impulso natural para el suelo y las plantas*. Agricultura sostenible. <https://vermiduro.es/dolomita-en-agricultura-ecologica-un-impulso-natural-para-el-suelo-y-las-plantas/>
- Villamagua, M. A., Guayanay, M. G., Rodríguez Sarango, R., Vásquez, E. R., Valarezo, C. A., & Mora Erraez, R. (2021). Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) en Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador. *Revista indexada bosques latitud cero*, 11 (1)(2), 15.

ANEXOS

Anexo 1 Costos de producción para una hectárea de cultivo de café

Anexo 1.1 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				7582.0
1. Mano de obra				4350
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				3900
Preparación del biochar	Jornal	0	50	0
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	66	50	3300
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				0
Encalado	Jornal	0	50	0
Incorporación del biochar	Jornal	0	50	0
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				3232
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				0
Dolomita	kg	0	0.3	0
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				594.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				389.4
5 % del presupuesto	%	5%	7787.0	389.4
III. COSTO TOTAL				8176.4

Anexo 1.2 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₂

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				8082.0
1. Mano de obra				4850
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				4150
Preparación del biochar	Jornal	2	50	100
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	69	50	3450
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				250
Encalado	Jornal	0	50	0
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				3232
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				0
Dolomita	kg	0	0.3	0
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				619.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				414.4
5 % del presupuesto	%	5%	8287.0	414.4
III. COSTO TOTAL				8701.4

Anexo 1.3 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₃

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				8282.0
1. Mano de obra				5050
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				4350
Preparación del biochar	Jornal	4	50	200
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	71	50	3550
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				250
Encalado	Jornal	0	50	0
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				3232
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				0
Dolomita	kg	0	0.3	0
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				629.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				424.4
5 % del presupuesto	%	5%	8487.0	424.4
III. COSTO TOTAL				8911.4

Anexo 1.4 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₄

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				8432.0
1. Mano de obra				5200
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				4500
Preparación del biochar	Jornal	6	50	300
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	72	50	3600
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				250
Encalado	Jornal	0	50	0
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				3232
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				0
Dolomita	kg	0	0.3	0
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				636.9
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				431.9
5 % del presupuesto	%	5%	8637.0	431.9
III. COSTO TOTAL				9068.9

Anexo 1.5 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T5

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				8782.0
1. Mano de obra				5100
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				4400
Preparación del biochar	Jornal	0	50	0
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	76	50	3800
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				250
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	0	50	0
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				3682
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				450
Dolomita	kg	1500	0.3	450
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				654.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				449.4
5 % del presupuesto	%	5%	8987.0	449.4
III. COSTO TOTAL				9436.4

Anexo 1.6 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₆

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				9332.0
1. Mano de obra				5650
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				4700
Preparación del biochar	Jornal	2	50	100
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	80	50	4000
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				3682
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				450
Dolomita	kg	1500	0.3	450
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				681.9
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				476.9
5 % del presupuesto	%	5%	9537.0	476.9
III. COSTO TOTAL				10013.9

Anexo 1.7 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T7

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				9532.0
1. Mano de obra				5850
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				4900
Preparación del biochar	Jornal	4	50	200
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	82	50	4100
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				3682
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				450
Dolomita	kg	1500	0.3	450
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				691.9
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				486.9
5 % del presupuesto	%	5%	9737.0	486.9
III. COSTO TOTAL				10223.9

Anexo 1.8 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₈

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				9832.0
1. Mano de obra				6150
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				5200
Preparación del biochar	Jornal	6	50	300
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	86	50	4300
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				3682
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				450
Dolomita	kg	1500	0.3	450
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				706.9
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				501.9
5 % del presupuesto	%	5%	10037.0	501.9
III. COSTO TOTAL				10538.9

Anexo 1.9 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₉

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				9832.0
1. Mano de obra				5700
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				5000
Preparación del biochar	Jornal	0	50	0
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	88	50	4400
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				250
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	0	50	0
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				4132
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				900
Dolomita	kg	3000	0.3	900
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				706.9
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				501.9
5 % del presupuesto	%	5%	10037.0	501.9
III. COSTO TOTAL				10538.9

Anexo 1.10 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₀

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				10232.0
1. Mano de obra				6100
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				5150
Preparación del biochar	Jornal	2	50	100
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	89	50	4450
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				4132
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				900
Dolomita	kg	3000	0.3	900
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				726.9
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				521.9
5 % del presupuesto	%	5%	10437.0	521.9
III. COSTO TOTAL				10958.9

Anexo 1.11 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₁

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				10482.0
1. Mano de obra				6350
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				5400
Preparación del biochar	Jornal	4	50	200
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	92	50	4600
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				4132
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				900
Dolomita	kg	3000	0.3	900
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				739.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				534.4
5 % del presupuesto	%	5%	10687.0	534.4
III. COSTO TOTAL				11221.4

Anexo 1.12 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₂

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				10682.0
1. Mano de obra				6550
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				5600
Preparación del biochar	Jornal	6	50	300
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	94	50	4700
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				4132
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				900
Dolomita	kg	3000	0.3	900
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				749.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				544.4
5 % del presupuesto	%	5%	10887.0	544.4
III. COSTO TOTAL				11431.4

Anexo 1.13 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₃

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				10782.0
1. Mano de obra				6200
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				5500
Preparación del biochar	Jornal	0	50	0
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	98	50	4900
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				250
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	0	50	0
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				4582
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				1350
Dolomita	kg	4500	0.3	1350
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				754.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				549.4
5 % del presupuesto	%	5%	10987.0	549.4
III. COSTO TOTAL				11536.4

Anexo 1.14 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₄

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				11332.0
1. Mano de obra				6750
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				5800
Preparación del biochar	Jornal	2	50	100
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	102	50	5100
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				4582
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				1350
Dolomita	kg	4500	0.3	1350
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				781.9
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				576.9
5 % del presupuesto	%	5%	11537.0	576.9
III. COSTO TOTAL				12113.9

Anexo 1.15 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₅

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				11782.0
1. Mano de obra				7200
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				6250
Preparación del biochar	Jornal	4	50	200
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	109	50	5450
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				4582
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				1350
Dolomita	kg	4500	0.3	1350
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				804.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				599.4
5 % del presupuesto	%	5%	11987.0	599.4
III. COSTO TOTAL				12586.4

Anexo 1.16 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₆

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				12132.0
1. Mano de obra				7550
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				6600
Preparación del biochar	Jornal	6	50	300
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	114	50	5700
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				4582
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				1350
Dolomita	kg	4500	0.3	1350
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				821.9
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				616.9
5 % del presupuesto	%	5%	12337.0	616.9
III. COSTO TOTAL				12953.9

Anexo 1.17 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₇

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				12182.0
1. Mano de obra				7150
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				6450
Preparación del biochar	Jornal	0	50	0
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	117	50	5850
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				250
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	0	50	0
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				5032
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				1800
Dolomita	kg	6000	0.3	1800
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				824.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				619.4
5 % del presupuesto	%	5%	12387.0	619.4
III. COSTO TOTAL				13006.4

Anexo 1.18 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₈

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				12182.0
1. Mano de obra				7150
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				6450
Preparación del biochar	Jornal	0	50	0
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	117	50	5850
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				250
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	0	50	0
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				5032
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				1800
Dolomita	kg	6000	0.3	1800
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				824.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				619.4
5 % del presupuesto	%	5%	12387.0	619.4
III. COSTO TOTAL				13006.4

Anexo 1.19 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₁₉

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				12882.0
1. Mano de obra				7850
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				6900
Preparación del biochar	Jornal	4	50	200
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	122	50	6100
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				5032
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				1800
Dolomita	kg	6000	0.3	1800
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				859.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				654.4
5 % del presupuesto	%	5%	13087.0	654.4
III. COSTO TOTAL				13741.4

Anexo 1.20 Costo de producción del cultivo de café con el tratamiento T₂₀

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS				12982.0
1. Mano de obra				7950
1.1.1. Habilitación del terreno				100
Demarcación del experimento	Jornal	2	50	100
1.1.2. Preparación del terreno				150
Limpieza	Jornal	3	50	150
1.1.3. Labores culturales				7000
Preparación del biochar	Jornal	6	50	300
Abonamiento de fondo	Jornal	5	50	250
Control fitosanitario	Jornal	2	50	100
Control de maleza	Jornal	5	50	250
Cosecha	Jornal	122	50	6100
1.1.4. Aplicación de los tratamientos				500
Encalado	Jornal	5	50	250
Incorporación del biochar	Jornal	5	50	250
1.1.5. Labores postcosecha				200
Despulpado, lavado y secado	Jornal	4	50	200
1.2. Insumos				5032
1.2.1. Fertilizantes				3147
Urea	kg	420	2.3	1573.5
Fosfato di amónico	kg	175	3.3	577.5
Cloruro de potasio	kg	415	2.4	996
1.2.2. Material encalante				1800
Dolomita	kg	6000	0.3	1800
1.2.3. Fungicida				85
Puccin 77 WP	kg	1	85	85
II. COSTOS INDIRECTOS				864.4
2.1. Materiales y equipos				60
Machete	Unidad	5	10	50
Lima triangular de afilar	Unidad	1	10	10
2.2. Servicios				145
Análisis de caracterización	Servicio	1	90	90
Cata del café	Servicio	1	25	25
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	30	30
2.3. Improvistos				659.4
5 % del presupuesto	%	5%	13187.0	659.4
III. COSTO TOTAL				13846.4

Anexo 2 Resultados del análisis de caracterización de los suelos



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS.
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Solicitante	Jhorles Huallpa	Fecha	06/06/2023
-------------	-----------------	-------	------------

Nombre de proyecto	N/A				
Departamento	Ayacucho	Provincia	La Mar	Distrito	Samugari
Localidad	N/A	Altitud	N/A	Coordenadas	N/A

Lab	N° Muestra	Campo	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m ⁻¹	CaCO ₃ (%)	Nt (%)	MO (%)	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes cambiables					% Sat de Bases
										Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
12198		Samugari-Café	4.46	0.13	0.0	0.24	4.86	4.75	77	30	30	40	Fr.Ar.	13.06	2.67	0.81	0.29	0.19	4.74	30
12199		Monte Virgen	4.19	0.16	0.0	0.46	9.13	4.40	140	48	22	30	Fr.Ar.A.	16.21	1.37	0.76	0.47	0.13	6.60	17

Lab	N° Muestra	Campo	Al Cmol(+) kg ⁻¹	Zn ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm
12198		Samugari-Café	2.48				
12199		Monte Virgen	3.08				



[Signature]
Ph. D. MARILENI CERDA GÓMEZ
 Responsable de Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = Franco arcillo arenoso; FrAr = Franco arcilloso; FrArL = Franco arcillo limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / ☎ (066) 312049 - 📞 966938028 - 966631889 / 📠 982781298 ✉ agrolab01@yahoo.es - agrolab107@gmail.com

Anexo 3 Resultados de datos obtenidos de los variables evaluados

Anexo 3.1 Resultados del peso de mil semillas del café (g)

Tratamiento	Combinación	I	II	III	Promedio
T1	d ₀ *b ₀	180	173	178	177.00
T2	d ₀ *b ₁	175	172	164	170.33
T3	d ₀ *b ₂	182	178	186	182.00
T4	d ₀ *b ₃	171	165	170	168.67
T5	d ₁ *b ₀	170	173	168	170.33
T6	d ₁ *b ₁	174	194	198	188.67
T7	d ₁ *b ₂	184	181	185	183.33
T8	d ₁ *b ₃	182	180	181	181.00
T9	d ₂ *b ₀	184	179	183	182.00
T10	d ₂ *b ₁	191	197	194	194.00
T11	d ₂ *b ₂	168	170	167	168.33
T12	d ₂ *b ₃	180	182	179	180.33
T13	d ₃ *b ₀	185	182	188	185.00
T14	d ₃ *b ₁	204	201	208	204.33
T15	d ₃ *b ₂	183	187	182	184.00
T16	d ₃ *b ₃	196	193	194	194.33
T17	d ₄ *b ₀	188	186	182	185.33
T18	d ₄ *b ₁	208	202	204	204.67
T19	d ₄ *b ₂	188	181	186	185.00
T20	d ₄ *b ₃	211	208	206	208.33

Anexo 3.2 Resultados del rendimiento en grano pergamino seco del café (kg/ha)

Tratamiento	Combinación	I	II	III	Promedio
T1	d ₀ *b ₀	1585.00	1865.00	1560.00	1670.00
T2	d ₀ *b ₁	1950.00	1575.00	1715.00	1746.67
T3	d ₀ *b ₂	1780.00	1685.00	1900.00	1788.33
T4	d ₀ *b ₃	1695.00	1710.00	2040.00	1815.00
T5	d ₁ *b ₀	1960.00	1750.00	1990.00	1900.00
T6	d ₁ *b ₁	1960.00	1815.00	2255.00	2010.00
T7	d ₁ *b ₂	2215.00	1940.00	1995.00	2050.00
T8	d ₁ *b ₃	2235.00	2150.00	2080.00	2155.00
T9	d ₂ *b ₀	2020.00	2440.00	2190.00	2216.67
T10	d ₂ *b ₁	2295.00	2330.00	2065.00	2230.00
T11	d ₂ *b ₂	2445.00	1915.00	2555.00	2305.00
T12	d ₂ *b ₃	2435.00	2405.00	2230.00	2356.67
T13	d ₃ *b ₀	2585.00	2395.00	2380.00	2453.33
T14	d ₃ *b ₁	2520.00	2675.00	2460.00	2551.67
T15	d ₃ *b ₂	2830.00	2940.00	2475.00	2748.33
T16	d ₃ *b ₃	2775.00	2860.00	2930.00	2855.00
T17	d ₄ *b ₀	2830.00	3015.00	2880.00	2908.33
T18	d ₄ *b ₁	2870.00	3305.00	2865.00	3013.33
T19	d ₄ *b ₂	2950.00	3180.00	3110.00	3080.00
T20	d ₄ *b ₃	2845.00	3270.00	3115.00	3076.67

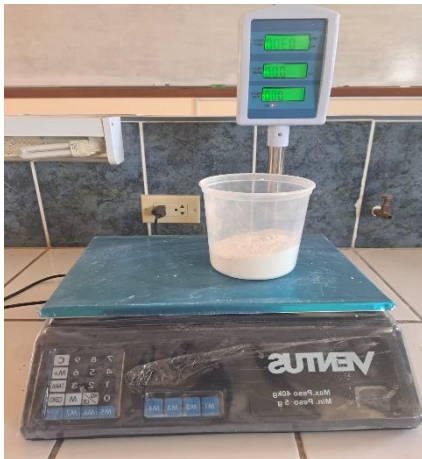
Anexo 3.3 Resultados del rendimiento físico del café (%)

Tratamiento	Combinación	Contenido de humedad	Densidad aparente	Rendimiento físico (%)	Cáscara y/o pergamino (%)	Coproductos (%)	Defectos primarios (%)	Defectos secundarios (%)
T1	d ₀ *b ₀	12.0	704.0	80.0	15.8	2.8	0.3	1.0
T2	d ₀ *b ₁	12.7	704.0	79.7	15.7	3.6	0.5	0.5
T3	d ₀ *b ₂	12.4	704.0	78.2	15.8	4.9	0.1	1.0
T4	d ₀ *b ₃	13.0	704.0	76.7	16.5	5.2	0.0	1.7
T5	d ₁ *b ₀	12.6	704.0	78.7	15.9	4.3	0.1	1.0
T6	d ₁ *b ₁	12.9	704.0	78.6	15.8	4.3	0.3	1.0
T7	d ₁ *b ₂	12.4	704.0	77.6	16.3	4.6	0.2	1.3
T8	d ₁ *b ₃	12.6	704.0	78.6	16.7	3.0	0.3	1.3
T9	d ₂ *b ₀	13.0	704.0	79.3	16.9	2.0	0.0	1.7
T10	d ₂ *b ₁	12.8	704.0	77.4	16.7	3.8	1.0	1.1
T11	d ₂ *b ₂	11.8	704.0	77.2	16.2	3.7	1.0	1.9
T12	d ₂ *b ₃	12.4	704.0	80.3	16.0	2.2	0.7	0.7
T13	d ₃ *b ₀	12.4	704.0	78.5	16.3	2.9	0.7	1.7
T14	d ₃ *b ₁	11.9	704.0	80.7	16.2	1.2	0.1	1.7
T15	d ₃ *b ₂	13.8	704.0	81.6	15.6	1.6	0.3	1.0
T16	d ₃ *b ₃	12.3	704.0	81.0	15.6	2.4	0.3	0.7
T17	d ₄ *b ₀	12.0	704.0	79.7	17.5	1.1	0.7	1.1
T18	d ₄ *b ₁	13.2	704.0	81.5	15.1	1.3	1.0	1.1
T19	d ₄ *b ₂	12.4	704.0	79.4	16.1	3.0	0.7	0.9
T20	d ₄ *b ₃	12.6	704.0	81.2	15.7	1.6	0.3	1.2

Anexo 3.4 Resultados de la calidad en taza del café (0 – 100)

Tratamiento	Combinación	Fragancia	Sabor	S. Residual	Acidez	Cuerpo	Balance	Uniformidad	Taza Limpia	Dulzura	P. Catador	P. Final
T1	d ₀ *b ₀	7.50	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	10.00	10.00	10.00	7.25	81.00
T2	d ₀ *b ₁	7.50	7.50	7.25	7.25	7.25	7.25	10.00	10.00	10.00	7.50	81.50
T3	d ₀ *b ₂	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.50	82.50
T4	d ₀ *b ₃	7.50	7.50	7.50	7.25	7.25	7.25	10.00	10.00	10.00	7.50	81.75
T5	d ₁ *b ₀	7.50	7.25	7.25	7.50	7.25	7.50	10.00	10.00	10.00	7.50	81.75
T6	d ₁ *b ₁	7.75	7.50	7.25	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.50	82.50
T7	d ₁ *b ₂	7.75	7.75	7.75	7.75	7.50	7.75	10.00	10.00	10.00	7.75	84.00
T8	d ₁ *b ₃	7.75	7.75	7.75	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.75	83.50
T9	d ₂ *b ₀	7.75	7.25	7.25	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.75	82.50
T10	d ₂ *b ₁	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.50	10.00	10.00	10.00	7.75	84.00
T11	d ₂ *b ₂	7.50	7.25	7.25	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	7.75	82.25
T12	d ₂ *b ₃	7.75	7.75	7.50	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	7.75	84.00
T13	d ₃ *b ₀	8.00	7.75	7.75	7.75	7.50	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	84.50
T14	d ₃ *b ₁	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	84.75
T15	d ₃ *b ₂	8.00	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.00
T16	d ₃ *b ₃	8.00	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.00
T17	d ₄ *b ₀	8.00	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.00
T18	d ₄ *b ₁	8.00	8.00	8.00	8.00	7.50	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.25
T19	d ₄ *b ₂	8.00	8.00	7.75	8.00	8.00	7.75	10.00	10.00	10.00	8.00	85.50
T20	d ₄ *b ₃	8.00	8.00	7.75	8.00	8.00	8.00	10.00	10.00	10.00	8.00	85.75

Anexo 4 Evidencias fotográficas de manejo del experimento



Anexo 4.1 *Pesado de la dolomita*



Anexo 4.2 *Preparación de estacas*



Anexo 4.3 *Preparación de biochar*



Anexo 4.4 *Encalado del café*



Anexo 4.5 *Abonamiento de fondo*



Anexo 4.6 *Incorporación de biochar*



Anexo 4.7 *Tratamiento instalado*



Anexo 4.8 *Control de maleza*



Anexo 4.9 *Control fitosanitario*



Anexo 4.10 *Cosecha del café*



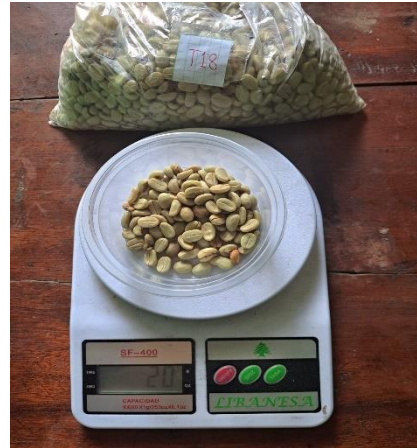
Anexo 4.11 *Despulpado del café*



Anexo 4.12 *Lavado una vez fermentado*



Anexo 4.13 *Secado del café*



Anexo 4.14 *Pesado del café*

Anexo 5 *Evidencias fotográficas del análisis físico y organoléptico del café*



Anexo 5.1 *Recepción de las muestras*



Anexo 5.2 *Pesado de las muestras*



Anexo 5.3 *Trillado del café*



Anexo 5.4 *Café oro*



Anexo 5.5 *Tueste del café*



Anexo 5.6 *Muestras después del tueste*



Anexo 5.7 *Molienda del café*



Anexo 5.8. *Muestras después de la molienda*



Anexo 5.9 *Evaluación de la fragancia*



Anexo 5.10 *Adición de agua a las muestras*



Anexo 5.11 *Evaluación de los atributos del café*



Anexo 5.12 *Evaluaciones finales de la taza*



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. JHORLES HUALLPA MUCHA
R.D. N° 373-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veintisiete días del mes de octubre del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo, Dr. Raúl José Palomino Marcatoma como asesor, Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez y el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Dosis de encalado y biochar enriquecido en el rendimiento y calidad del café (Coffea arábica L.) en Samugari, Ayacucho - 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por el Bachiller **JHORLES HUALLPA MUCHA**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberacion y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo	17	16	17	17
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma	17	17	17	17
Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	17	15	18	17
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza	17	17	17	17
PROMEDIO GENERAL				17

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo
Presidente


.....
Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Jurado


.....
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma
Asesor


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por RR N° 294-2022-UNSCH-R y la R.D N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo titulado;

Dosis de encalado y biochar enriquecido en el rendimiento y calidad del café (*Coffea arábica* L.) en Samugari, Ayacucho – 2023

Autor : Jhorles Huallpa Mucha
Asesor : Raúl José Palomino Marcatoma

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de dieciocho **(18%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 2797085963

Ayacucho, 29 de octubre de 2025

.....
Angela J. Requis Quintanilla

M.Sc. en Fitopatología
E.P. Agronomía

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Dosis de encalado y biochar
enriquecido en el rendimiento
y calidad del café (*Coffea*
arábica L.) en Samugari,
Ayacucho – 2023

por Jhorles Huallpa Mucha

Fecha de entrega: 29-oct-2025 03:39p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2797085963

Nombre del archivo: Jhorles_Tesis_2025_1_.pdf (4.17M)

Total de palabras: 35001

Total de caracteres: 173943

Dosis de encalado y biochar enriquecido en el rendimiento y calidad del café (Coffea arábica L.) en Samugari, Ayacucho – 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1%

9	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
12	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.undc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.iica.int Fuente de Internet	<1 %
16	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	monografias.umcc.cu Fuente de Internet	<1 %
19	revistas.unat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

empaquetagricola.com

20

Fuente de Internet

<1 %

21

abonosconagricola.com

Fuente de Internet

<1 %

22

sci-platform.org

Fuente de Internet

<1 %

23

tiposagricultura.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

24

repositorio.unesum.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

25

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

26

Submitted to Universidad Nacional de
Cajamarca

Trabajo del estudiante

<1 %

27

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**Dosis de encalado y biochar enriquecido en el rendimiento y calidad
del café (*Coffea arabica* L.) en Samugari,
Ayacucho – 2023**

**Liming and biochar enrichment dosage on the yield and quality of coffee
(*Coffea arabica* L.) in Samugari, Ayacucho – 2023**

Huallpa Mucha, Jhorles¹, Raúl José Palomino Marcatoma²

jhorles.huallpa.01@unsch.edu.pe raul.palomino@unsch.edu.pe

Área de investigación: Medio ambiente

Línea de investigación: Sistema de producción agrícola

RESUMEN

La acidez de los suelos es uno de los factores que limitan la producción agrícola; siendo el encalado y el uso de biochar enriquecido una respuesta al problema. En este contexto, se investigó en suelos de Samugari con pH 4.46, clasificados como muy fuertemente ácidos, con el objetivo de evaluar la influencia de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre el rendimiento y calidad del café. El experimento se dispuso en un factorial de cinco niveles de dolomita y cuatro niveles de biochar con tres repeticiones con 60 unidades experimentales dispuestas en el Diseño de Bloques Completos al Azar. Se evaluó el rendimiento (peso de mil semillas y grano pergamino seco), la calidad física y organoléptica de acuerdo a la Norma Técnica Peruana y la Specialty Coffee Association, y la relación beneficio costo. El mayor peso de mil semillas (208.33 g), se logró con la combinación de 6 t ha⁻¹ de dolomita y 150 kg ha⁻¹ de biochar enriquecido, mientras que el mayor rendimiento de grano pergamino seco (3019.58 kg ha⁻¹) con 6 t ha⁻¹ de dolomita. El mayor rendimiento físico (80.45 %) se

logró con la adición de 4.5 t ha⁻¹ de dolomita y, el menor porcentaje de coproductos (1.13 %) con 6 t ha⁻¹ de dolomita. El mayor puntaje en calidad sensorial con 85.75 se obtuvo con 6 t ha⁻¹ de dolomita y 150 kg ha⁻¹ de biochar que lo tipifica como café especial “excelente”. El mayor valor de la relación beneficio costo se logra con 6 t ha⁻¹ de dolomita y 100 kg ha⁻¹ de biochar enriquecido, alcanzando un valor de 1.69 nuevos soles.

Palabras clave: *Coffea arabica*, dolomita, biochar enriquecido, calidad física y sensorial del café.

ABSTRACT

Soil acidity is one of the factors limiting agricultural production; liming and the use of enriched biochar are solutions to this problem. In this context, an investigation was conducted on soils in Samugari with a pH of 4.46, classified as very strongly acidic, to evaluate the influence of dolomite and enriched biochar doses on coffee yield and quality. The experiment was designed as a factorial with five levels of dolomite and four levels of biochar, with three

replicates and 60 experimental units arranged in a Randomized Complete Block Design. Yield (thousand-seed weight and dry parchment weight), physical and organoleptic quality according to the Peruvian Technical Standard and the Specialty Coffee Association, and the cost-benefit ratio were evaluated. The highest thousand-seed weight (208.33 g) was achieved with a combination of 6 t ha⁻¹ of dolomite and 150 kg ha⁻¹ of enriched biochar, while the highest dry parchment yield (3019.58 kg ha⁻¹) was obtained with 6 t ha⁻¹ of dolomite. The highest physical yield (80.45%) was achieved with the addition of 4.5 t ha⁻¹ of dolomite, and the lowest percentage of byproducts (1.13%) with 6 t ha⁻¹ of dolomite. The highest sensory quality score (85.75) was obtained with 6 t ha⁻¹ of dolomite and 150 kg ha⁻¹ of biochar, classifying it as an "excellent" specialty coffee. The highest benefit-cost ratio is achieved with 6 t ha⁻¹ of dolomite and 100 kg ha⁻¹ of enriched biochar, reaching a value of 1.69 nuevos soles.

Keywords: *Coffea arabica*, dolomite, enriched biochar, physical and sensory quality of coffee.

I. INTRODUCCIÓN

En el cultivo de café la acidez es uno de los factores edáficos más relevantes que afecta su desarrollo y productividad del cultivo, especialmente en regiones tropicales donde predominan suelos altamente meteorizados. Un pH bajo limita la disponibilidad de nutrientes esenciales como el calcio, magnesio y fósforo, al mismo tiempo que favorece la solubilidad de elementos tóxicos como el aluminio y el manganeso, lo que perjudica el crecimiento radicular y el rendimiento del cultivo (Sánchez, 2022).

Frente a este problema es fundamental proponer alternativas científicamente comprobadas que permitan mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, con el propósito de avanzar en la recuperación de los suelos degradados (Espinoza, 2019).

El encalado se ha consolidado como una práctica eficaz para neutralizar la acidez del suelo, mediante la aplicación de materiales alcalinos como la dolomita, que eleva el pH y mejora la disponibilidad de nutrientes (Cruz & Macal, 2018). Paralelamente, el uso de biochar ha ganado atención por su capacidad para mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de nutrientes y contribuir a la reducción de la acidez de forma más prolongada (Quiñonez et al., 2021).

Por las consideraciones indicadas, el trabajo de investigación consideró los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto de encalado y biochar enriquecido en el rendimiento y calidad del café (*Coffea arabica* L.) en Samugari, Ayacucho – 2023.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de los niveles de dolomita en el rendimiento y calidad del café.
2. Comprobar el efecto de las dosis de biochar enriquecido en el rendimiento y calidad del café.
3. Evaluar el efecto de la interacción de las dosis de dolomita y biochar en el rendimiento y calidad del café.
4. Cuantificar la relación beneficio/costo en el rendimiento y calidad del café.

II. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

La investigación se llevó a cabo en el anexo Canto Grande, perteneciente a la localidad de Palmapampa, en el distrito de Samugari, provincia de La Mar y departamento de Ayacucho, ubicado a 12°49'58.06'' latitud sur y 73°39'20.65'' longitud oeste a una altitud de 1376 m.s.n.m.

2.2. Características del suelo

Los resultados del análisis del suelo muestran como principal problema el desbalance catiónico, evidenciado por relaciones no equilibradas entre Ca/Mg, Ca/K y Mg/K, lo cual puede afectar la nutrición del cultivo. Además, el pH de 4.46 lo clasifica como un suelo muy fuertemente ácido, por debajo del rango óptimo de 5.0 a 5.5 para el cultivo de café. No obstante, la textura franco arcilloso no representa una limitante. El contenido de materia orgánica es alto (4.86%), lo cual favorece la fertilidad y estructura del suelo. La capacidad de intercambio catiónico (13.06 Cmol kg⁻¹) es media, indicando buena retención de nutrientes. En cuanto a los elementos esenciales, el fósforo presenta un nivel muy bajo (4.75 ppm) y el potasio un nivel medio (77 ppm), siendo ambos determinantes para la nutrición mineral del café.

2.3. Material genético

En el experimento se empleó una plantación de café de la variedad Catimor, con tres años de edad y sembrado a 2 metros entre hileras y 1 metro entre plantas con una densidad de 5000 plantas por hectárea.

2.4. Material encalante

El material encalante fue la dolomita, la cual presenta una composición química de

60% de carbonato de calcio (CaCO₃) y 30% de carbonato de magnesio (MgCO₃).

2.5. Enmienda orgánica

Se empleó el biochar, obtenido mediante un proceso de pirólisis de los residuos vegetales propios de la zona. Posteriormente, fue molido de manera uniforme y activado con un abono orgánico (biol), mediante un proceso de remojo durante 15 días con el propósito de cargar con nutrientes y microorganismos.

2.6. Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se dispuso en un factorial de cinco niveles de dolomita, cuatro niveles de biochar con 3 repeticiones con 60 unidades experimentales dispuestas en el Diseño de Bloques Completos al Azar. Los resultados del estudio, fueron sometidos al Análisis de Variancia y la diferencia de las medias de los tratamientos mediante la prueba de Duncan ($p > 0.05$).

2.7. Tratamientos en estudio

Tabla 2.1

Descripción y codificación de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Código	Descripción
T ₁	d ₀ *b ₀	Testigo
T ₂	d ₀ *b ₁	50 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₃	d ₀ *b ₂	100 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₄	d ₀ *b ₃	150 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₅	d ₁ *b ₀	1.5 t (dolomita) ha ⁻¹
T ₆	d ₁ *b ₁	1.5 t (dolomita) ha ⁻¹ más 50 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₇	d ₁ *b ₂	1.5 t (dolomita) ha ⁻¹ más 100 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₈	d ₁ *b ₃	1.5 t (dolomita) ha ⁻¹ más 150 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₉	d ₂ *b ₀	3.0 t (dolomita) ha ⁻¹
T ₁₀	d ₂ *b ₁	3.0 t (dolomita) ha ⁻¹ más 50 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₁₁	d ₂ *b ₂	3.0 t (dolomita) ha ⁻¹ más 100 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₁₂	d ₂ *b ₃	3.0 t (dolomita) ha ⁻¹ más 150 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₁₃	d ₃ *b ₀	4.5 t (dolomita) ha ⁻¹
T ₁₄	d ₃ *b ₁	4.5 t (dolomita) ha ⁻¹ más 50 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₁₅	d ₃ *b ₂	4.5 t (dolomita) ha ⁻¹ más 100 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₁₆	d ₃ *b ₃	4.5 t (dolomita) ha ⁻¹ más 150 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₁₇	d ₄ *b ₀	6.0 t (dolomita) ha ⁻¹
T ₁₈	d ₄ *b ₁	6.0 t (dolomita) ha ⁻¹ más 50 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₁₉	d ₄ *b ₂	6.0 t (dolomita) ha ⁻¹ más 100 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹
T ₂₀	d ₄ *b ₃	6.0 t (dolomita) ha ⁻¹ más 150 kg (biochar enriquecido) ha ⁻¹

2.7. Variables en evaluación

Rendimiento del café

- a) Peso de mil semillas de café pergamino (g)
- b) Peso de café pergamino seco (kg ha^{-1})

Calidad del café

- a) Calidad física
 - Rendimiento físico (%)
 - Humedad (%)
 - Densidad (g/l)
 - Cascarella y/o pergamino (%)
 - Coproductos (%)
 - Defectos primarios (%)
 - Defectos secundarios (%)
- b) Calidad organoléptica (0 – 100)
 - Fragancia (0 – 10)
 - Sabor (0 – 10)
 - Sabor residual (0 – 10)
 - Acidez (0 – 10)
 - Cuerpo (0 – 10)
 - Balance (0 – 10)
 - Uniformidad (0 – 10)
 - Taza limpia (0 – 10)
 - Dulzor (0 – 10)
 - Puntaje de catador (0 – 10)

De la relación B/C

Utilidad neta (S/.)

2.8. Instalación y conducción del experimento

Habilitación y preparación del terreno

Consistió en la ubicación del campo experimental, seleccionando un área representativa para la ejecución de la investigación. Posteriormente, se procedió con la preparación del terreno.

Aplicación del material encalante

Una vez identificadas las unidades experimentales, se procedió a incorporar la dolomita de acuerdo con los niveles establecidos para cada tratamiento.

Aplicación del biochar enriquecido

El biochar se esparció de manera uniforme en toda el área comprendida por la proyección de la copa del café y finalmente, se cubrió con los rastros retirados previamente.

Aplicación del abonamiento de fondo

La fertilización se realizó en base a los requerimientos nutricionales y análisis de suelo, aplicando 80 kg N, 55 kg P_2O_5 y 30 kg K_2O con urea, fosfato di amónico y cloruro de potasio, respectivamente.

Control fitosanitario

Se aplicó el fungicida comercial (Puccin® 77 WP) a base de hidróxido de cobre con la finalidad de prevenir de las enfermedades como la roya y antracnosis.

Cosecha

La cosecha manual se realizó de manera selectiva, una vez que los granos alcanzaron su estado óptimo de maduración.

Manejo post cosecha

El manejo post cosecha del café comprendió el despulpado, fermentación por 12 horas, lavado, secado hasta 10 a 12% de humedad y almacenamiento en sacos de yute.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Del rendimiento del café

Peso de mil semillas de café pergamino (g)

En la tabla 3.1, se muestra el análisis de varianza; donde se muestra diferencias altamente significativas para los efectos principales de dolomita, biochar y en la interacción. Esto indica que cada uno de los factores y su interacción tuvieron un efecto diferencial en el peso de mil semillas, con un 2.26% de variación, reflejando alta homogeneidad experimental.

Tabla 3.1

Análisis de varianza del peso de mil semillas de café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

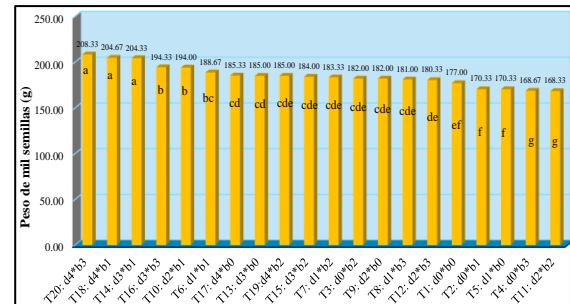
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P-Valor
Bloque	2	12.70	6.35	0.36	0.6974
Dolomita (D)	4	3688.73	922.18	52.83	<0.0001**
Biochar (B)	3	1539.65	513.22	29.40	<0.0001**
Interacción (D*B)	12	2525.27	210.44	012.06	<0.0001**
Error	38	663.30	17.46		
Total	59	8429.65			

CV (%) = 2.26

En la figura 3.1 se observa que el peso de mil semillas varió significativamente según las dosis aplicadas. El tratamiento T20 (6 t ha⁻¹ de dolomita + 150 kg ha⁻¹ de biochar enriquecido) obtuvo el mayor rendimiento con 208.33 g, sin diferencias estadísticas frente a T18 y T14, pero superando ampliamente a los demás tratamientos. Sin embargo, el tratamiento T11 (1.5 t ha⁻¹ de dolomita + 50 kg ha⁻¹ de biochar) registró solo 168.33 g, mientras que los tratamientos sin dolomita ni biochar (d0*b0) presentaron los valores más bajos.

Figura 3.1

Prueba de Duncan (0.05) del peso de mil semillas del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido



Llobet (2021) logra resultados similares al indicar que el peso de mil semillas de café arábico puede oscilar entre 150 y 180 gramos. Por su parte, Marín-López (2003) indicaron que en su investigación se obtuvo un peso de mil semillas de 182 gramos en la variedad Colombia, la cual fue cultivada a una altitud de 1400 msnm en condiciones agroecológicas del territorio colombiano.

Peso de café en pergamino seco (kg ha⁻¹)

Tabla 3.2

Análisis de varianza del rendimiento en grano pergamino seco del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P-Valor
Bloque	2	6310.00	3155.00	0.10	0.9086ns
Dolomita (D)	4	120224940.00	3006235.00	91.55	<0.0001**
Biochar (B)	3	424591.67	141530.56	4.31	0.0104*
Interacción (D*B)	12	108366.67	9030.56	0.28	0.9900ns
Error	38	1247856.67	32838.33		
Total	59	13812065.00			

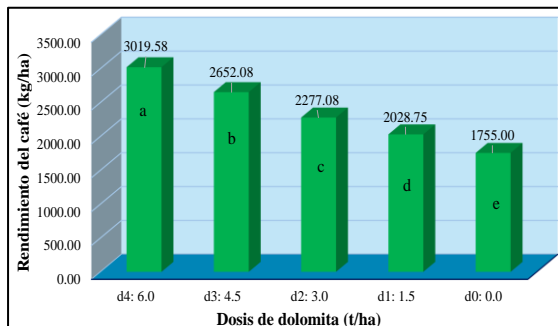
CV (%) = 7.72

En la tabla 3.2, se muestra el análisis de varianza, donde se encontró una alta significación estadística entre los efectos principales: dolomita y biochar; sin embargo, la interacción no fue significativa, lo que indica que los efectos de ambos insumos sobre el rendimiento en grano seco

fueron independientes. El coeficiente de variación fue de 7.72%, lo que indica una buena estabilidad y consistencia en los datos recopilados durante la evaluación.

Figura 3.2

Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento promedio de grano pergamino seco del café por efecto de las dosis de dolomita



La figura 3.2, muestra una tendencia ascendente en el rendimiento conforme se incrementa la dosis de dolomita. El tratamiento con mayor rendimiento fue d4 (6.0 t ha⁻¹), alcanzando 3019.58 kg ha⁻¹, mientras que sin la aplicación de dolomita (d0) obtuvo el menor rendimiento, con apenas 1755.00 kg ha⁻¹. Este resultado evidencia un aumento del 72 % en la productividad, demostrando el efecto positivo de la dolomita en el rendimiento del cultivo.

Respecto a los resultados López-Báez et al. (2018) reportaron que 500 kg ha⁻¹ de dolomita en un suelo con pH 5.3 aumentó el rendimiento del café a 5066 kg ha⁻¹ frente al testigo 3850 kg ha⁻¹ en la variedad Oro Azteca. Villamagua et al. (2021) observaron que la aplicación de 5.0 y 6.3 t ha⁻¹ (CaCO₃) mejoró en el crecimiento vegetativo y radicular del café. A modo de referencia, Puerres (2001) con la aplicación de abono compuesto (25 – 4 – 24) más urea y fosfato di amónico en relación 3:1 obtuvo

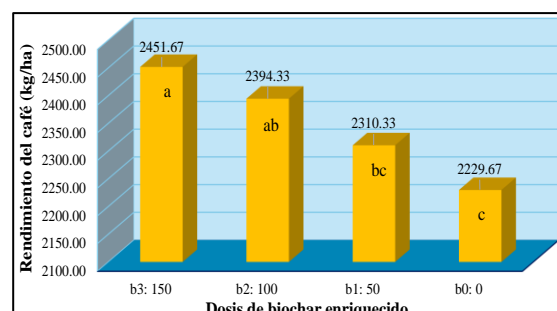
1667.16 kg ha⁻¹ en la variedad Colombia, rendimiento menor al del presente estudio.

La figura 3.3, muestra una relación positiva entre la dosis de biochar enriquecido aplicada y el rendimiento del café (kg ha⁻¹); donde se encontró que el mayor rendimiento de café en grano pergamino seco (2451.67 kg ha⁻¹), corresponde a una dosis de b3 (150 kg ha⁻¹ de biochar enriquecido), mientras con la dosis d0 (testigo) se encontró un rendimiento de 2229.67 kg ha⁻¹, existiendo una diferencia de hasta el 10% entre las diferentes dosis.

Los datos obtenidos respaldan a lo reportado por Sánchez (2022), quien sostiene que encontró rendimientos más altos en las plantas tratadas con biochar en comparación con aquellas que no recibieron ni biochar ni fertilizantes, evidenciando así el efecto positivo de esta enmienda sobre la productividad del cultivo de café. Por su parte, Cargua et al. (2022) reportaron mejoras en la producción de café con el uso de biochar como enmienda del suelo. Sin embargo, se debe tener en cuenta factores como la textura del suelo, las condiciones climáticas y el tipo de biochar utilizado, también el enriquecimiento del biochar con nutrientes y microorganismos, ya que estos pueden influir en la eficacia del tratamiento.

Figura 3.3

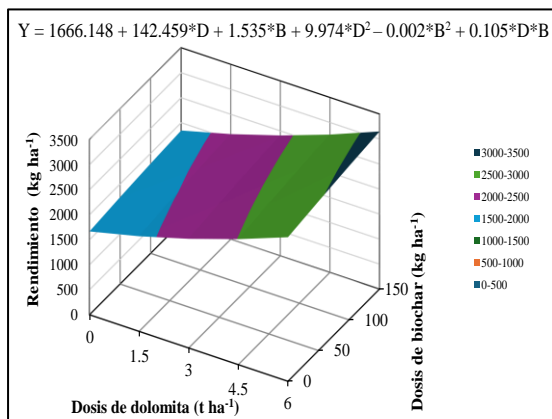
Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento de grano pergamino seco del café bajo el efecto de las dosis de biochar enriquecido



De manera complementaria, en la superficie de respuesta (figura 3.4), se observa que la dolomita tuvo mayor influencia en el rendimiento que el biochar. Al aumentar la dosis de dolomita de 0 a 6 t ha⁻¹, el rendimiento pasó de 1800 a 3000 kg ha⁻¹ en promedio (incremento de 1200 kg ha⁻¹). En cambio, al aplicar biochar de 0 a 150 kg ha⁻¹, el rendimiento solo aumentó 300 kg ha⁻¹ (2200 a 2500 kg ha⁻¹ en promedio). Además, la ecuación obtenida permite estimar combinaciones óptimas de ambos insumos para lograr el rendimiento deseado de grano pergamino seco.

Figura 3.4

Superficie de respuesta del rendimiento de grano pergamino seco del café Catimor bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido



3.2. De la calidad del café

Análisis físico del café pergamino

1. Humedad (%)

El contenido de humedad ideal del café debe estar entre 10 % y 12 % para garantizar estabilidad y evitar deterioro. Sin embargo, en la investigación se detectó una humedad máxima de 13.8%, mínima de 11.8% y una media de 12.8%; haciendo necesario ajustar el secado del grano.

2. Densidad aparente (g/l)

En la evaluación todas las muestras tienen un valor uniforme de 704 g/l, lo que indica que poseen una alta densidad que generalmente se asocia con granos bien formados y de buena calidad, catalogándose como un café con alta densidad.

3. Defectos primarios (%)

Durante la evaluación se detectó de 0% hasta un máximo de 1%; el promedio fue de 0.43%, con un intervalo de confianza del 95% entre 0.28 - 0.58 % lo que indica una baja presencia de defectos graves como granos negros, vinagrados o con hongos.

4. Defectos secundarios (%)

Los valores encontrados son bajos, con un máximo de 1.9% y un promedio de 1.18%, con un intervalo de confianza del 95% entre 1.01% - 1.35%, lo que refleja una ligera presencia de defectos menos severos como granos con cáscara, quebrados o inmaduros.

5. Coproductos (%)

Tabla 3.3

Análisis de varianza de coproductos del café en el análisis físico bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P - Valor
Bloque	2	0.53	0.27	3.19	0.523ns
Dolomita (D)	4	56.40	14.10	168.84	<0.0001**
Biochar (B)	3	7.01	2.34	28.0	<0.0001**
Interacción (D*B)	12	27.95	2.33	27.89	<0.0001**
Error	38	3.17	0.08		
Total	59	95.07			

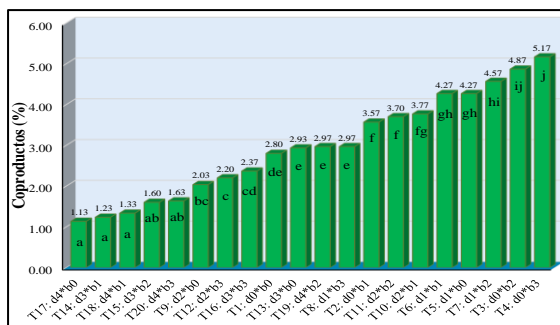
CV (%) = 9.74

En la tabla 3.3, se muestra el análisis de varianza de coproductos del café, donde los resultados muestran diferencia estadística altamente significativa para los efectos principales de dolomita, biochar

enriquecido y la interacción con un coeficiente de variabilidad del 9.74%, lo que indica un grado de homogeneidad entre las variables evaluadas.

Figura 3.7

Prueba de Duncan (0.05) de coproductos del café en el análisis físico bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido



En la figura 3.7 se evidencia que el tratamiento T17 (d4*b0) presentó el valor más bajo de coproductos (1.13%), seguido por T14 (d3*b1) con 1.23%, y T18 (D4*B1) con 1.33% sin diferenciarse unos de otros. En contraste, el tratamiento con mayor porcentaje fue T4 (d0*b3) con 5.17%. En general, las combinaciones con d4 y b1 tienden a producir mejores resultados, mientras que las asociadas a d0 y b3 muestran mayor generación de coproductos.

6. Rendimiento físico (%)

En la tabla 3.5, del análisis de variancia se muestra diferencia estadística altamente significativa para el efecto principal de dolomita; lo que indica que dolomita influyó de manera significativa. Sin embargo, los efectos del biochar y la interacción no fueron significativos, con un coeficiente de variabilidad de 2.25%, lo que indica un grado adecuado de homogeneidad entre las unidades evaluadas.

Tabla 3.5

Análisis de varianza del rendimiento físico del café bajo el efecto de las dosis de dolomita y biochar enriquecido

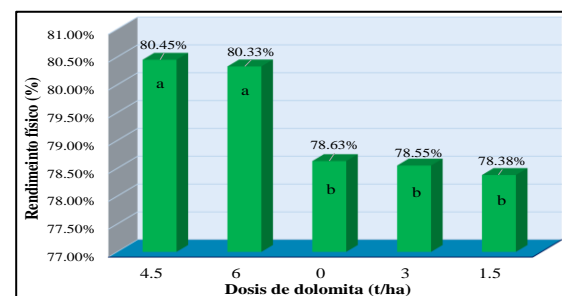
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P - Valor
Bloque	2	3.68	1.84	0.58	0.5643ns
Dolomita (D)	4	50.89	12.72	4.02	0.0081**
Biochar (B)	3	5.13	1.71	0.54	0.6576ns
Interacción (D*B)	12	61.66	5.14	1.62	0.1259ns
Error	38	120.22	3.16		
Total	59	241.58			

CV (%) = 2.24

En la figura 3.8 se observa que los mayores rendimientos en grano oro se registraron con las dosis de 4.5 y 6.0 t/ha de dolomita, alcanzando valores de 80.45% y 80.33%, respectivamente. En cambio, las dosis de 0, 1.5 y 3.0 t/ha presentaron promedios de rendimiento físico de 78.63%, 78.38% y 78.55%, respectivamente, mostrando diferencias entre los tratamientos.

Figura 3.8

Prueba de Duncan (0.05) del rendimiento físico del café bajo el efecto de las dosis de dolomita



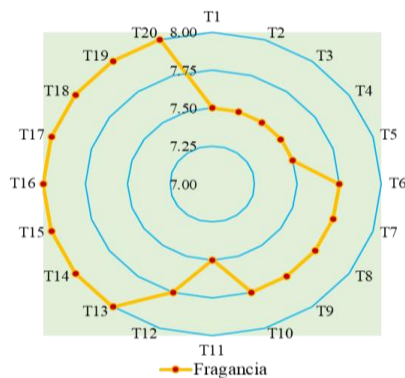
De manera similar, Gamboa et al. (2015) reportaron un rendimiento físico promedio de 79.5% en café variedad Caturra, evaluado en 19 fincas en Colombia. El mayor rendimiento se obtuvo en la finca F14 (80.6%) y el menor en la finca F4 (75.6%). Por su parte, Fajardo y Sanz (2004) reportaron 80.29% en la variedad Colombia, bajo un proceso de beneficio ecológico en comparación al proceso tradicional (77.44%).

De la calidad organoléptica o sensorial

Atributo fragancia

Figura 3.9

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre el atributo fragancia en la calidad sensorial del café



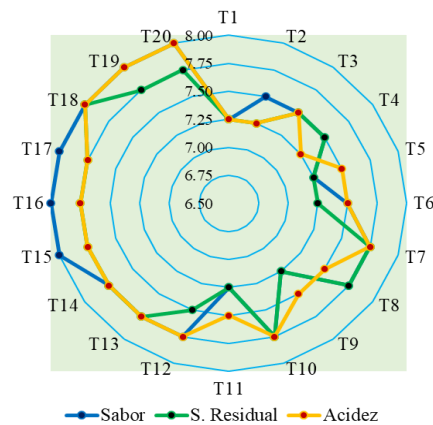
En la figura 3.9 se observa que los tratamientos de T13 a T20, obtuvieron la mayor puntuación en fragancia (8.0). En cambio, los tratamientos T1 a T5 y T11, con menor dosis de dolomita o solo biochar, registraron los valores más bajos (7.5). Los tratamientos intermedios (T6 a T10 y T12) alcanzaron 7.75, evidenciando una mejora moderada. En conjunto, los resultados indican que el incremento de dolomita mejoró la fragancia del café al favorecer la nutrición.

Atributos sabor, sabor residual y acidez

En la figura 3.10 se aprecia que los tratamientos T18, T19 y T20, alcanzaron las puntuaciones más altas y consistentes en los atributos sensoriales, reflejando un perfil armónico y bien estructurado. Los tratamientos T10 y T11 mostraron valores intermedios, mientras que T1 a T6 registraron los más bajos. En conjunto, se evidencia que la combinación de dolomita y biochar en dosis elevadas mejora significativamente los atributos sensoriales del café.

Figura 3.10

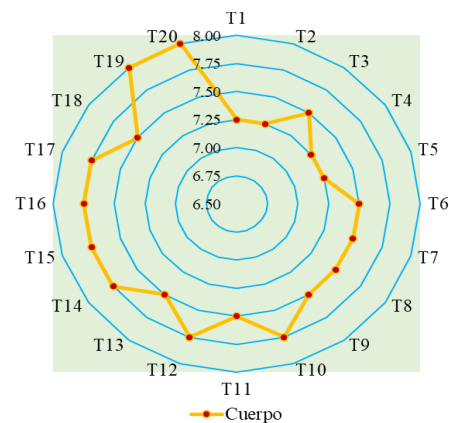
Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre los atributos sabor, sabor residual y acidez en la calidad sensorial del café



Atributo cuerpo

Figura 3.11

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre el atributo cuerpo en la calidad sensorial del café

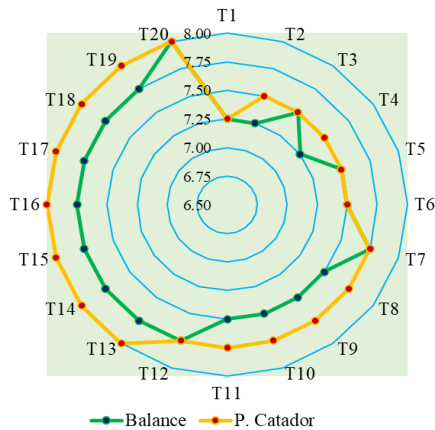


En la figura 3.11 se observa que los tratamientos T19 y T20 alcanzaron la puntuación más alta en cuerpo (8.0), indicando una mayor densidad en la bebida. Los tratamientos T10, T12 y T14 a T17 obtuvieron 7.75, mostrando un cuerpo bien desarrollado, mientras que T3, T6 a T9, T11 y T18 registraron 7.50. En contraste, T1, T2, T4 y T5 presentaron las puntuaciones más bajas.

Atributos balance y puntaje del catador

Figura 3.12

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre los atributos balance y puntaje del catador en la calidad sensorial del café



La figura 3.12 muestra que el tratamiento T20 obtuvo la mayor puntuación (8.00) en balance y puntaje de catador, evidenciando una excelente armonía sensorial. Los tratamientos T7, T12 y T13 a T19 también presentaron altos valores (7.75 a 8.00), mientras que T3, T5 y T6 fueron intermedios (7.50) y T1, T2 y T4 los más bajos (7.25) en ambos atributos.

Atributos de uniformidad, taza limpia y dulzura

Los resultados muestran una puntuación constante de 10.00 en todos los tratamientos evaluados (T1 a T20); lo que indica una alta calidad sensorial del café, sin defectos, con muestras consistentes y una marcada dulzura natural, características propias de un café especial.

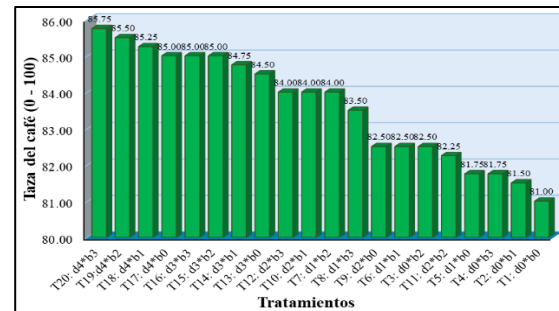
Puntaje final en la calidad sensorial

En la figura 3.13 se observa que el tratamiento T20 (d4*b3), alcanzó la mayor puntuación sensorial (85.75), catalogándose como un café especial “excelente”. Además, se observa que con

las dosis altas de dolomita (4.5 – 6 t ha⁻¹) en combinación con dosis de biochar se evidenció mejores puntuaciones. Sin embargo, con el tratamiento testigo (T1) se logró solamente una puntuación de 81.00 puntos.

Figura 3.3

Influencia de aplicación de las dosis de dolomita y biochar enriquecido sobre la calidad sensorial del café Catimor



A modo de referencia Reyes (2018) reportó promedios de calidad en taza de 82.94 puntos bajo un proceso de fermentación cerrada y 81.81 en fermentación abierta en la variedad Catuaí, cultivado a una altitud de 1390 msnm. Por otro lado, en la variedad Paraimena obtuvo puntajes de 84.75 y 83.56 bajo fermentación cerrada y abierta, respectivamente. Por su parte, Escalante (2023) reportó puntuaciones de 84.00 puntos con el método de beneficio húmedo, 85.00 puntos mediante el beneficio honey y 86.02 puntos con el beneficio seco o natural, al evaluar los diferentes métodos de beneficio del café Catimor en el distrito de Kimbiri, región del VRAEM – Ayacucho. Cabe mencionar que Oscco et al. (2020) reportaron una puntuación de 84.2, 84.3 y 85.0 puntos en calidad de taza bajo el efecto de tiempos de fermentación de 24, 40 y 50 horas, respectivamente, en café de la variedad Geisha cultivado en el distrito de Inkawasi, provincia de La Convención, región Cusco.

3.3. Análisis económico

Rentabilidad (B/C)

En la tabla 3.11 se presenta la relación beneficio/costo del cultivo de café, observándose que en todos los tratamientos este valor supera 1, lo que indica que el cultivo de café, con la incorporación de la dolomita y biochar enriquecido, resulta rentable. El tratamiento T19, con la aplicación de 6 t ha⁻¹ de dolomita más 150 kg ha⁻¹ de biochar, obtuvo la mayor relación beneficio/costo, con un valor de 1.69 nuevos soles.

Tabla 3.6

Rentabilidad en el cultivo de café expresado en beneficio/costo

Tratamiento	Costo total de producción (S/. ha ⁻¹)	Ingreso neto (S/. ha ⁻¹) (Beneficio)	Rentabilidad (B/C)
T ₁	8176.35	11863.65	1.45
T ₂	8701.35	12258.65	1.41
T ₃	8911.35	12548.65	1.41
T ₄	9068.85	12711.15	1.40
T ₅	9436.35	13363.65	1.42
T ₆	10013.85	14106.15	1.41
T ₇	10223.85	14376.15	1.41
T ₈	10538.85	15321.15	1.45
T ₉	10538.85	16061.15	1.52
T ₁₀	10958.85	15801.15	1.44
T ₁₁	11221.35	16438.65	1.46
T ₁₂	11431.35	16848.65	1.47
T ₁₃	11536.35	17903.65	1.55
T ₁₄	12113.85	18506.15	1.53
T ₁₅	12586.35	20393.65	1.62
T ₁₆	12953.85	21306.15	1.64
T ₁₇	13006.35	21893.65	1.68
T ₁₈	13531.35	22628.65	1.67
T ₁₉	13741.35	23218.65	1.69
T ₂₀	13846.35	23073.65	1.67

CONCLUSIONES

1. Con la aplicación de 6 t (dolomita) ha⁻¹ se obtuvo el mayor rendimiento de café pergamino seco alcanzando 3019.58 kg ha⁻¹, además se logró incrementar en 210.16 kg ha⁻¹ de café pergamino por cada nivel de dolomita. El mayor peso de mil semillas (208.33 g) con la dosis de 6 t (dolomita) ha⁻¹ junto con 150 kg (biochar) ha⁻¹.

2. La mejor calidad física del café se logra con la adición de 4.5 t (dolomita) ha⁻¹ con 80.45%, mientras que el menor porcentaje de coproductos (1.13%) se obtiene con la incorporación de 6 t (dolomita) ha⁻¹. Los demás atributos no tienen mayor variación según los tratamientos.
3. La mejor calidad sensorial u organoléptica se logra, de manera general, con la aplicación de 6 t (dolomita) ha⁻¹ junto a 150 kg (biochar) ha⁻¹ con 85.75 puntos que lo define en la categoría de café especial “excelente”.
4. La mayor relación beneficio/costo en el cultivo de café se obtuvo con la aplicación de 6 t (dolomita) ha⁻¹ más 100 kg (biochar enriquecido) ha⁻¹, alcanzando un valor de 1.69 nuevos soles.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cargua, J. E., Luna, A. K., González, H., Cedeño, G. A., & Cedeño, Á. F. (2022). Crecimiento y calidad de plantas de café arábica con la aplicación de biochar y biofertilizantes en vivero.
- Castro, J. C. (2010). *Efecto de diferentes dosis de dolomita en la neutralización del aluminio intercambiable en un suelo muy ácido de Supte San Jorge*. Tingo Maria, Perú.
- Escalante, Ñ. L. (2023) Influencia de métodos de beneficio post cosecha en la calidad física y organoléptica de granos de café Catimor (*Coffea arabica* L.) VRAEM.

- Espinoza, N. D. (2019). *Efecto de cuatro dosis de dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo en una plantación de Schizolobium parahyba var. amazonicum "pino chuncho" en Antonio Raimondi - Las Vegas - Daniel Alomia Robles*. Tingo Maria, Perú.
- Fajardo, F., & Sanz Uribe, J. R. (2004). La calidad física y el rendimiento del café en los procesos de beneficio tradicional y beneficio ecológico (BECOLSUB). *Cenicafé*, 8. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/419/1/avt0323.pdf>
- Gamboa, P. Y., Mosquera, S. A., & Paz, V. E. (2015). Caracterización física de café especial (*Coffea Arabica*) en el municipio de Chachagüí (Nariño, Colombia). *Revista lasallista de investigación*, 12(1), 9.
- Llobet, A. (2021). *Los índices de rentabilidad en la producción del café*. (C. d. cafecultura, Ed.) Guatemala: ANACAFÉ.
- López, B. W., Hernández, U., Reynoso, S., & Martínez-Sánchez, J. (2018). Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*coffea arabica* L.) en la reserva de la biosfera el triunfo, Chiapas, México. 11(4), 55 - 60.
- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de bebida. *Cenicafé*, 54(4), 297 - 315.
- Oscoco, I., Roldan, E. P., Quispe, E., Camacho, A., Marmolejo G., D., & Marmolejo G., K. J. (2020). Selección, identificación y zonificación de café (*Coffea arabica* L.) por su adaptabilidad, rendimiento, calidad sensorial y resistencia a plagas y enfermedades.
- Puerres, D. C. (2001). *Efecto de bioabono edáfico sobre los componentes de rendimiento y calidad en el cultivo de café (Coffea arabica L., variedad Colombia), en el municipio de Consaca departamento de Nariño*. Colombia.
- Quiñónez, B. S., Quevedo, J. N., & García, R. M. (2021). Biochar: aplicaciones y efectos en combinación con fertilizantes minerales en 3 variedades de café (*Coffea sp.*) en la provincia del El Oro. *Científica Agroecosistemas*, 9(2), 9.
- Reyes Henríquez, W. M. (2018). *Evaluación física y calidad de taza de dos variedades de café en dos condiciones de almacenamiento*. Zamorano, Honduras
- Sánchez Reinoso, A. D. (2022). Rendimiento y estado nutricional del café (*Coffea arábica* L.) en respuesta aplicación de biocarbón. Bogotá – Colombia.
- Villamagua, M. A., Guayanay, M. G., Rodríguez Sarango, R., Vásquez, E. R., Valarezo, C. A., & Mora Erraez, R. (2021). Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) en Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador, 11 (1)(2), 15.