

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO ACADEMICO EN CIENCIAS Y CONSERVACION
DE SUELOS Y AGUA



EFFECTO DE LA ALTITUD EN LA CALIDAD DEL COMPOST DE PULPA DE
Coffea arábica a L. (CAFÉ) – LEONCIO PRADO – HUANUCO

Tesis

Para optar el título profesional de:

INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

MINER SERAFIN CASTILLO

Tingo María – Perú

2026



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 017-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 12 de enero de 2026, a horas 05:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFECTO DE LA ALTITUD EN LA CALIDAD DEL COMPOST DE PULPA DE
Coffea arábica a.L (CAFÉ) - LEONCIO PRADO - HUANUCO”**

Presentado por el Bachiller: **SERAFIN CASTILLO, MINER** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “**MUY BUENA**”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 16 de febrero de 2026


Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE


Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO


Ing. MSc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
MIEMBRO




Dr. NELINO FLORIDA ROFNER
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 086 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Table with 4 columns: Tesis, X, Trabajo de Suficiencia Profesional, empty cell

Table with 4 columns: TÍTULO, AUTOR, SIMILITUD, CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL. Row 1: EFECTO DE LA ALTITUD EN LA CALIDAD DEL COMPOST DE PULPA DE Coffea arabica a L. (CAFÉ) - LEONCIO PRADO - HUÁNUCO, MINER SERAFIN CASTILLO, 06 % Seis, Menor a 20 %

Tingo Maria, 20 de marzo de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTIFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA**

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : FRNR-EPG-UNAS
Título de la tesis : Efecto de la altitud en la calidad del compost de pulpa de Coffea arábica L (café) - Leoncio Prado-Huánuco.
Objetivo general : Evaluar Efecto de la altitud en la calidad del compost de pulpa de Coffea arábica L (café) - Leoncio Prado-Huánuco.
Autor : Serafin Castillo, Miner
Asesor (es) : Dr. Florida Rofner, Nelino
Programa de investigación : Gestión de agua y suelos
Línea de investigación : Desarrollo Sostenible
Eje temático : Ecología y conservación de suelos
Lugar de ejecución : Distrito de Rupa -Rupa, provincia de Leoncio Prado
Duración : Fecha de inicio : Febrero 2025
: Fecha de término : Mayo 2025
Financiamiento : FEDU : S/. 0,00
: Propio : S/. 7 794,00
: Otros : S/. 0,00

Tingo María, Perú, noviembre 2025

.....
Ing. Miner, Serafin Castillo
Tesisista

.....
Dr. Nelino, Florida Rofner
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por escuchar mis oraciones, darme fortaleza y propósito en la vida, por ser el guía en el día a día y haberme otorgado una familia que también teme y ejerce los principios de Dios, por haberme hecho un hombre fuerte y con convicciones bien definidos.

A mi madre, Sonia Castillo por ese gran amor incondicional que nos brindó desde que tengo uso de razón, por sus consejos y oraciones durante toda mi vida, por darme por su apoyo durante este periodo formativo.

A mi padre, Nicolas Serafín por haber y sido cabeza de hogar sin que nos falte las necesidades básicas, por sus consejos y comprensión, por haberme dado las fuerzas emocionales y económico durante el desarrollo y culminación de mi carrera y de esta investigación.

A mis hermanos, por ser parte de mi vida y acompañarme durante el proceso de mi formación, por el cariño y apoyo que me brindaron.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivo específico	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Importancia de café en el Perú	3
2.1.1. Paisaje cafetalero peruano.....	3
2.1.2. Distritos cafetaleros IDH y pobreza.....	4
2.1.3. Problemática de café en el ecosistema del Perú.....	6
2.2. Residuos orgánicos	6
2.2.1. Microorganismos eficientes	6
2.3. Compost.....	7
2.4. Parámetros de control durante el proceso de compostaje.....	8
2.4.1. Aeración.....	8
2.4.2. Humedad	8
2.4.3. Temperatura	8
2.4.4. pH.....	9
2.5. Fases del compost y calidad	9
2.5.1. Criterios de calidad del compost.....	10
2.5.2. Calidad del compost.....	10
2.6. Café	11
2.6.1. Pulpa de café	12
2.7. Importancia de la altura.....	13
2.7.1. Gradiente altitudinal y las características del agroecosistema.....	13
2.7.2. Gradiente altitudinal y material orgánico en el suelo	13
2.7.3. Gradiente altitudinal y calidad de café.....	14
2.7.4. Tamaño y peso de granos de café en relación con rango altitudinales.....	15
2.8. Variedades de café en el Perú	17
2.9. Estado del arte	17
2.9.1. Antecedentes internacionales	17
2.9.2. Antecedentes nacionales	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Ubicación	23

3.1.1.	Características generales del área de estudio	23
3.1.2.	vías de acceso	24
3.1.3.	Ubicación de zona alta.....	24
3.1.4.	Características generales del área de estudio.....	25
3.1.4.	vías de acceso	25
3.1.5.	Ubicación de zonas de extracción de las muestras	25
3.2.	Materiales y equipos	25
3.2.1.	Material experimental	25
3.2.2.	Pilas de compostaje y camas de compost	26
3.2.3.	Tiempo de duración	27
3.2.4.	Materiales	37
3.2.5.	Equipos	27
3.3.	Criterio y análisis de estudio	27
3.1.1.	Tipo y nivel de investigación.....	27
3.2.1.	Diseño de investigación.....	27
3.4.	Metodología	28
3.4.1.	Manejo aplicado en la toma de parámetros en el proceso del compost (pH, humedad y temperatura).....	28
3.4.2.	Determinación de indicadores físicos y químicos de calidad del compost.....	29
3.4.3.	Criterios de la - norma técnica chilena 2880.....	30
3.4.4.	Métodos de ensayos utilizados.....	30
3.5.	Análisis estadístico.....	31
3.6.	Variable de estudio.....	32
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	33
4.1.	Manipulación en el proceso de compostaje.....	33
4.2.	Caracterización de pulpa de café en base seca	33
4.3.	Evaluación de los parámetros de compostaje: pH, temperatura y humedad	34
4.4.	Indicadores fisicoquímicos en compost.....	37
4.4.1.	Contenido de humedad.....	37
4.4.2.	Potencia de hidrogeno (pH)	38
4.4.3.	Materia orgánica (MO)	40
4.4.4.	Nitrógeno (N).....	41
4.4.5.	Niveles de fosforo	42

4.4.6. Niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K)	43
4.4.7. Niveles de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn)	46
4.4.8. Niveles de ceniza.....	49
4.5. Evaluación de la calidad del compost según estándares normativos.....	49
4.5.1. Norma técnica chilena	49
V. CONCLUSIONES	52
VI. PROPUESTA A FUTURO	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	54
VIII. ANEXOS	60
IX. PANEL FOTOGRAFICO	73

ÍNDICE DE TABLA

Tabla	Página
01. Principales distritos con la mayor cantidad de café cultivable del país	5
02. Características de pilas y camas	26
03. Diseño del campo experimental	27
04. Modelo del análisis de varianza.....	28
05. Calidad del compost según la NOCh 2880.....	30
06. Indicadores y método de determinación.....	31
07. Operacionalización de las variables.....	32
08. Criterios técnicos de procesamiento	33
09. Características químicas de la pulpa de café	34
10. Contraste de calidad con la norma técnica chilena	50
11. Comparación de medias para el % de humedad.....	60
12. Prueba post-hoc de Tukey para el % de humedad	60
13. Comparación de medias para el % de cenizas	61
14. Prueba post-hoc de Tukey para el % de cenizas	61
15. Comparación de medias para el Ph	62
16. Prueba post-hoc de Tukey para el % de Ph.....	62
17. Comparación de medias para el % de MO.....	63
18. Prueba post-hoc de Tukey para el % de MO.....	63
19. Comparación de medias para el % de N	64
20. Prueba post-hoc de Tukey para el % de N	64
21. Comparación de medias para el % de P.....	65
22. Prueba post-hoc de Tukey para el % de P.....	65
23. Comparación de medias para el % de Ca.....	66
24. Prueba post-hoc de Tukey para el % de Ca.....	66
25. Comparación de medias para el % de Mg.....	67
26. Prueba post-hoc de Tukey para el % de Mg	67
27. Comparación de medias para el % de K	68
28. Prueba post-hoc de Tukey para el % de K.....	68
29. Tabla 28. Comparación de medias para el Zn.....	69
30. Prueba post-hoc de Tukey para el Zn.....	69
31. Comparación de medias para el Fe	70
32. Prueba post-hoc de Tukey para el Fe	70

33. Comparación de medias para el Mn.....	71
34. Prueba post-hoc de Tukey para el Mn.....	71
35. Comparación de medias para el Cu.....	72
36. Prueba post-hoc de Tukey para el Cu	72

ÍNDICE DE FIGURA

Figura	Página
0.1. Curva del proceso del compostaje.....	10
0.2. Tamaño del grano de café Caturra según la altitud	16
0.3. Tamaño del grano de café Colombia según la altitud	16
0.4. Ubicación del área de estudio.....	23
0.5. Ubicación del área de estudio.....	24
0.6. Ubicación de áreas de recolección de pulpa de café	25
0.7. Diseño de cada una las pilas y sus repeticiones por pila	26
0.8. Conducta de pH de los tratamientos valorados durante el proceso de compostaje	35
0.9. Conducta de temperatura de los tratamientos valorados durante el proceso de compostaje.....	36
10. Comportamiento de la humedad en los tratamientos durante el compostaje	37
11. Humedad en compost	38
12. Valores de pH en compost.....	39
13. Niveles de MO en compost	40
14. Niveles de N en compost	41
15. Niveles de P en compost.....	42
16. Niveles de Ca en compost	43
17. Niveles de Mg en compost	44
18. Niveles de K en compost	45
19. Niveles de cobre en compost	47
20. Niveles de zinc en compost	47
21. Niveles de hierro en compost	48
22. Niveles de manganeso en compost.....	48
23. Niveles de ceniza en compost.....	49
24. Despulpado y recolección de muestra	73
25. Proceso de secado al sol de residuos de café.....	73
26. Incorporación de pulpa de café en pilas de compostaje	74
27. Formulación de cultivos de microorganismos eficientes	74
28. Inoculación del compost con microorganismos eficientes (ME)	75
29. Medición de variables ambientales: temperatura y humedad.....	75
30. Medición de variables ambientales: pH.....	76

31. Décimo tercera semana del proceso de compostaje	76
32. Resultado de análisis en laboratorio de caracterización de pulpa de café en base seca ...	77
33. Resultados del compost analizado en laboratorio – T1 (zona baja)	77
34. Resultados del compost analizado en laboratorio – T1 (zona media)	78
35. Resultados del compost analizado en laboratorio – T1 (zona media)	78

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la altitud sobre la calidad del compost elaborado a partir de pulpa de *Coffea arábica* L. en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. Se aplicó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (T1, T2 y T3), correspondientes a diferentes altitudes, cada uno con seis repeticiones. La materia prima empleada fue exclusivamente pulpa de café, y durante el proceso de compostaje se monitorearon temperatura, pH y contenido de humedad. Los resultados mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) entre los tratamientos para la mayoría de las variables físicas y químicas del compost final, excepto para el contenido de nitrógeno (N), calcio (Ca), magnesio (Mg) y zinc (Zn), donde no se observaron diferencias. En general, los compost presentaron valores de humedad superiores a los límites establecidos por la norma técnica, mientras que los contenidos de Ca, Mg y fósforo (P) fueron más bajos en todos los tratamientos. Según la clasificación de la norma chilena NCh2880, todos los compost fueron categorizados como Clase B (calidad tipo II), lo que indica una calidad media adecuada para uso agrícola. Se concluye que la altitud influye en ciertas características del compost, pero no altera de manera significativa su clasificación final. Los tratamientos de baja (T1) y media altitud (T2) mostraron una ligera inferioridad nutricional respecto al de alta altitud (T3). En conjunto, todos los compost evaluados cumplen condiciones apropiadas para su utilización como enmiendas orgánicas o sustratos agrícolas.

Palabras clave: altitud, calidad, norma técnica, enmienda orgánica, compost

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the effect of altitude on the quality of compost made from pulp of *Coffea arábica* L. in the province of Leoncio Prado, Huánuco region. A completely random design was applied with three treatments (T1, T2 and T3), corresponding to different altitudes, each with six replicates. The raw material used was exclusively coffee pulp, and during the composting process temperature, pH and moisture content were monitored. The results showed highly significant statistical differences ($p < 0.01$) between treatments for most of the physical and chemical variables of the final compost, except for the content of nitrogen (N), calcium (Ca), magnesium (Mg) and zinc (Zn), where no differences were observed. In general, the compost had moisture values above the limits established by the technical standard, while the contents of Ca, Mg and phosphorus (P) were lower in all treatments. According to the classification of the Chilean standard NCh2880, all compost was categorized as Class B (type II quality), indicating an average quality suitable for agricultural use. It is concluded that altitude influences certain characteristics of the compost, but does not significantly alter its final classification. Treatments at low (T1) and medium altitude (T2) showed a slight nutritional inferiority compared to high altitude (T3). Taken together, all evaluated compost meet appropriate conditions for use as organic amendments or agricultural substrates.

Keywords: altitude, quality, technical standard, organic order, compost

I. INTRODUCCIÓN

El café representa en el Perú como el primer producto agrícola de exportación, teniendo 425,416 hectáreas lo cual representa el 6 % de área agrícola del país, alrededor de 2 millones de personas depende de esta actividad, instaladas en 17 regiones, 67 provincias y 338 distritos país (Ministerio del Ambiente -MINAM,2019). Se sabe que la industria cafetalera genera en el mundo más de 200,000,000 de toneladas de residuos sólidos o también llamado por el nombre de subproductos (Federación Nacional de Cafeteros-FNC, 2018). En consecuencia, del poco conocimiento en el tratamiento de esta afecta el suelo y las poblaciones microbianas. por las razones mencionadas se busca implementar una alternativa más viable en lo económico y ambiental con practica del compostaje, para la mitigación de los efectos secundarios generados por pulpa de café.

En el País el café es de suma importancia ya que es uno de los principales exportadores, hasta julio de 2024, la producción cafetalera registro 239,000 toneladas, reportó una fuerte caída del 9.65 % respecto al año 2023, datos de la (Organización internacional del café – OIC,2024). Se estima que se generan aproximadamente 105, 248 toneladas de residuo de pulpa de café cada año, ya que por cada tonelada de café se genera alrededor de 0.5 a 0.6 toneladas de pulpa (Asociación de exportadores de café del Perú -AEPC, 2022). El Perú tiene las bondades para producir café por sus diferentes altitudes, un clima variado y su calidad de suelo, creando favorables condiciones para una producción de alta calidad. El empleo de pulpa de café se convierte para las empresas y para los caficultores reinvirtiendo y reciclando para la obtención de un producto excelente para el suelo, lo cual a la fecha de hoy su precio es elevado en el mercado y el caficultor puede aprovechar en aplicar en su cafetal.

Según el Censo nacional agropecuario CENAGRO,2012, la provincia de Leoncio Prado- Huánuco tiene como una de sus actividades principales económicas la siembra del café, esto se debe a las características del suelo y a su localización geográfica. Actualmente los residuos que genera esta actividad están teniendo grandes impactos negativos en el ambiente, debido a que gran parte del proceso de descomposición se realiza en el suelo sin tener ningún tipo de tratamiento o control, ocasionando problemas fitosanitarios y contaminación cruzada, en estos residuos podemos encontrar compuestos bióticos como proteínas y azúcares, que provocarían una contaminación a las fuentes hídricas. En este escenario, la investigación tiene como problema central la interrogante ¿Cuál es el efecto de la altitud en la calidad del compost de pulpa de Coffea arabica L (café) - Leoncio Prado-Huánuco?

La justificación de la investigación se establece por los efectos negativos que genera en el ecosistema con el mal manejo de pulpa de café en el proceso productivo. El manejo que se le está dando a los residuos orgánicos no están siendo los apropiados para el ecosistema, tenemos como ejemplo que la mayoría de los caficultores arrojan la pulpa en lugares inapropiados, estas se almacenan causando malos olores, bacterias, hongos y moscas, que generan un daño a la salud pública, la muerte de plantas, microorganismos y contaminación de suelos y agua. Ante esta situación, la investigación propone elaborar compost a partir de la pulpa de café, evaluando su comportamiento en diferentes altitudes para determinar su calidad.

Los alcances del proyecto contribuirán en la adquisición de nuevos entendimientos para la comunidad científica, con la información recopilado se generará prácticas de disposición y aprovechamiento responsable de pulpa de café; de tal manera contribuir a la comunidad científica con la divulgación en revistas y artículos científicos, será de beneficio para las instituciones nacionales y privadas. También, los nuevos conocimientos adquiridos proporcionaran información a las instituciones nacionales, nacionales y a los caficultores dedicados al rubro, que puedan optar por alternativas de manejo más amigable con el medio ambiente.

A partir de los resultados obtenidos, la investigación permitió contrastar la hipótesis planteada, confirmando que la variable altura ejerce un efecto significativo sobre la calidad del compost. Este efecto se evidenció en las diferencias observadas en los contenidos de nutrientes alcanzados por los tres tratamientos evaluados, los cuales cumplieron de manera diferenciada con los criterios establecidos en la normativa técnica chilena vigente.

1.1. Objetivo general

Evaluar efecto de la altitud en la calidad del compost de pulpa de Coffea arábica L (café)
- Leoncio Prado-Huánuco.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la pulpa de café a compostar.
- Evaluar los parámetros del proceso del compostaje (pH, temperatura y humedad).
- Determinar indicadores físicos y químicos de calidad del compost tomando parámetros de la norma técnica chilena 2880.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del café en el Perú

Ministerio de desarrollo agrario y riego MIDAGRI, (2020), el café constituye el rubro agrícola de exportación más importante del Perú y en el ranking mundial le corresponde el séptimo lugar; es importante destacar que el café no solo encabeza las exportaciones del sector agrícola, sino que también se ubica entre los diez principales productos de exportación del país, superado únicamente por los minerales, el petróleo, el gas natural y otros recursos similares. El área agrícola nacional cuenta con un alto potencial de expansión, estimándose que podría alcanzar aproximadamente los 2 millones de hectáreas. El cultivo de café se encuentra distribuido en 17 regiones, 67 provincias y 338 distritos del país, todos ellos con condiciones adecuadas para su desarrollo. En la actualidad, alrededor de 223,482 familias peruanas se dedican a la producción agrícola de este cultivo y con datos estadísticos que el 95 % son agricultores que tienen 5 hectáreas o menos de producción.

Según datos de la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SUNAT, 2021), la región Cajamarca se posicionó como la principal productora de café en el país durante los años 2019 y 2020, consolidándose como líder en volumen destinado a la exportación. En 2019, Cajamarca alcanzó una producción superior a las 88 mil toneladas, mientras que en 2020 la cifra fue de aproximadamente 81 mil toneladas. No obstante, en 2021 se evidenció una disminución significativa, atribuida principalmente a los efectos adversos de la pandemia, que impactaron la cadena productiva y logística. La región Junín ocupó el segundo lugar en volumen de producción, con más de 44 mil toneladas en 2019, reduciéndose a 42 mil toneladas en 2020 y experimentando una caída más pronunciada en 2021, con apenas 12 mil toneladas. Esta tendencia descendente en ambas regiones responde a factores similares relacionados con el contexto sanitario y económico global. Por su parte, la región Huánuco, si bien no lidera en volumen, destina un 4 % de sus exportaciones a productos derivados del café, según lo reportado por el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR, 2023), lo que evidencia su participación relevante en esta cadena productiva a nivel nacional.

2.1.1. Paisaje cafetalero peruano

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), el cultivo de café en el Perú se desarrolla principalmente en los valles interandinos, abarcando toda la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, una zona geográfica conocida como la selva alta. Esta región, por sus condiciones agroclimáticas favorables, ha sido históricamente propicia para el establecimiento de cafetales. Sin embargo, el crecimiento sostenido de la

demanda internacional del café ha ejercido una fuerte presión sobre estos ecosistemas, volviéndolos particularmente vulnerables a procesos de deforestación. Entre los años 2000 y 2015, se estima que se perdieron, en promedio, alrededor de 120 mil hectáreas de bosque por año debido a la expansión agrícola, incluyendo el café. Frecuentemente, los cafetales son instalados en zonas de bosque húmedo tropical con pendientes pronunciadas y suelos con alta susceptibilidad a la erosión, lo cual incrementa el riesgo de degradación del recurso edáfico. Esta situación representa una amenaza considerable para la sostenibilidad de la producción cafetalera en el largo plazo, tanto desde una perspectiva ecológica como económica.

En la Amazonía, el café es el cultivo agrícola de mayor extensión, abarcando el 25 % del área destinada a la agricultura. Su expansión acelerada ha generado una pérdida del 45 % de bosques primarios, siendo el 25 % asociado a la instalación de nuevos cafetales en zonas de purma. El uso intensivo de fertilizantes y pesticidas en este cultivo ha incrementado las emisiones de GEI y contaminado fuentes hídricas. Además, el manejo inadecuado del suelo ha deteriorado su calidad. Aunque las proyecciones climáticas para el 2030 en la selva alta no prevén cambios drásticos en la producción de café, el aumento de temperaturas y precipitaciones podría favorecer la aparición de plagas y enfermedades (ICRAF, 2016).

2.1.2. Distrito de cafetaleros IDH y pobreza

Según información proveniente del Censo Nacional Agropecuario, basada en los registros del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2012), se identificaron un total de 449 distritos en el territorio nacional donde se desarrolla el cultivo de café. La distribución de estos distritos, clasificada según rangos de superficie cultivada, permite establecer una referencia útil para definir zonas prioritarias de intervención orientadas al fortalecimiento y competitividad del sector cafetalero. Con la misma base de datos, el INEI también identificó los 25 distritos con mayor superficie dedicada al cultivo de café, cuyos valores oscilan entre 3 990 hectáreas y 23 223 hectáreas. Esta información resulta estratégica para la planificación de políticas públicas, la focalización de inversiones y la implementación de programas de desarrollo rural sostenible vinculados a la cadena productiva del café.

Tabla 1. Principales distritos con la mayor cantidad de café cultivable del país.

Nº	Departamento	Provincia	Distrito	super. De cultivo de café (ha)	Distribución porcentual
1	Junín	Satipo	Mazamari - Pangoa	23 223,30	5,5%
2	Junín	Chanchamayo	Pichanaqui	20 528,64	4,8%
3	Cusco	la convención	Echarate	19 106,22	4,5%
4	Junín	Chanchamayo	Perene	18 593,15	4,4%
5	San Martín	Moyobamba	Moyobamba	16 021,88	3,8%
6	Cajamarca	San Ignacio	La Coipa	10 970,56	2,6%
7	Cajamarca	San Ignacio	San Ignacio	10 073,22	2,4%
8	Junín	Satipo	Río Negro	9 385,91	2,2%
9	Junín	Satipo	Río Tambo	9 245,60	2,2%
10	Junín	Satipo	Satipo	9 180,56	2,2%
11	Cusco	La Convención	Quelluno	9 009,94	2,1%
12	Cajamarca	San Ignacio	San José de Lourdes	7 881,44	1,9%
13	San Martín	Moyobamba	Jepelacio	6 581,66	1,5%
14	San Martín	lomas	Alonso de Alvarado	6 298,86	1,5%
15	San Martín	Moyobamba	Soritor	6 073,05	1,4%
16	San Martín	bellavista	Bajo Biavo	5 868,30	1,4%
17	Amazonas	Rodríguez de Mendoza	Omía	5 668,46	1,3%
18	Amazonas	Utcubamba	Lonya Grande	6 545,22	1,3%
19	Puno	Sandia	San Pedro de Putina	5 363,97	1,3%
20	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	5 282,27	1,2%
21	Cajamarca	San Ignacio	Chirinos	4 698,79	1,1%
22	Cusco	Calca	Yanatile	4 598,51	1,1%
23	Cajamarca	San Ignacio	Tabacones	4 454,27	1,0%
24	San Martín	Huallaga	Saposoá	4 076,09	1,0%
25	Junín	Canchamayo	San Luis de Shuaro	3 990,63	0,9%
TOTAL				231 632,5	54,45%

Fuente: CENAGRO, 2012. Elaboración: PCV-PNUD.

2.1.3. Problemática del café en el ecosistema local del Perú

A lo largo del tiempo se hizo habitual el uso de fertilizantes químicos y pesticidas para el manejo del cultivo del café, lo cual contribuye a la emisión de Gases de efecto invernadero (GEI). Estos contaminantes suelen terminar en las riberas y también contaminan las aguas subterráneas. También pueden ser afectados por aguas residuales con alta carga de materia orgánica, en consecuencia, del mal manejo de la pulpa del café. En temporadas de cosecha se generan grandes cantidades de residuos orgánicos, uno de ellos es la Pulpa de café, los cual contiene pH ácido con alta carga de fenoles y polifenoles que son altamente tóxicas para la fauna edáfica. Darle un uso eficiente a este compuesto contribuirá a mitigar este problema medioambiental (Centro de investigación en agricultura tropical-CIAT, 2016).

La pulpa y el mucílago constituyen los subproductos más generados durante el procesamiento del café, representando aproximadamente el 60 % del peso total del grano en estado fresco. En las fincas cafetaleras, la pulpa suele ser desechada de manera habitual y se convierten en potenciales contaminantes de suelos y quebradas, cabe decir que estos subproductos son un excelente recurso para elaborar abono orgánico, sin embargo, las malas prácticas y el desconocimiento de los agricultores en el Perú hacen que se acumulen grandes volúmenes campaña tras campaña generando contaminación. Asimismo, los grandes volúmenes de pulpa mezclados mezclados con el agua de la precipitación u otra fuente hídrica original formación de lixiviados que son una fuente de contaminación para el suelo y las vertientes de aguas cercanas (Guerrero & Moreno, 2010)

2.2. Residuo orgánico

La elaboración de abonos orgánicos constituye una práctica relevante para el aprovechamiento de ciertos residuos originados en la agricultura y la agroindustria, al permitir la transformación de estos subproductos en materiales útiles para la mejora de las propiedades del suelo (Uribe, 2003). Los residuos orgánicos tienen la propiedad de biodegradarse rápidamente, luego transformándose en materia orgánica, se puede componer de restos de alimentos y restos vegetales de múltiples orígenes. Los residuos orgánicos si no se tratan adecuadamente conllevan un fuerte impacto en el medio ambiente, contaminando los suelos, las aguas y la atmósfera, esto debido a sus elementos minerales, elevadas concentraciones de materia orgánica, junto con la presencia de metales pesados, fitotoxinas y patógenos tanto vegetales como animales, representan un alto riesgo de contaminación (Mantra, 2014)

2.2.1. Microorganismos eficientes

La caracterización de los microorganismos que participan en el desarrollo de compostaje es tediosa, esto debido a que la población incesantemente en función al cambio

de la temperatura, nutrientes, oxígeno, pH, contenido de agua, etc. Los microorganismos que tienen mayor participación son los hongos y actinomicetos, esto por la capacidad que tienen en deteriorar residuos de plantas y animales (Farrel & Jones, 2009). La participación de los actinomicetos durante las distintas etapas del compostaje es significativa, debido a su capacidad enzimática para descomponer compuestos orgánicos complejos como la celulosa y la pectina (Tiquia, 2002).

2.3. Compost

Según Soto (2003), el compost es un desarrollo biológico equánime de modificación de la sustancia orgánica a humus a través de la desintegración aeróbica. El compost es valorado como un recurso clave en la dinámica trófica del suelo, actuando como un estímulo para la actividad biológica de los microorganismos presentes. Asimismo, se le reconoce por sus propiedades en la prevención de enfermedades en las plantas cultivadas. En conjunto, el compost puede desempeñar un papel fundamental tanto en la producción agrícola dentro de los agroecosistemas como en la protección y conservación del suelo.

Se denomina compost al resultado del proceso de compostaje. Resulta de la descomposición de la mezcla ya sea de origen vegetal o de animal, en conjunto de la actividad microbiana. Es una fase biológica aeróbica (presencia de oxígeno), que, estando sometido a condiciones como la temperatura controlada, humedad y ventilación, convierte u transforma los residuos orgánicos en un sustrato o material estable e higiénico que se denomina compost, que puede cumplir la función como enmienda orgánica. Las finalidades del proceso del compostaje es que permite normalizar los materiales orgánicos, reducir la masa y también el volumen y posteriormente higienizarlos. El compostaje representa una práctica ventajosa, ya que permite la reincorporación de la materia orgánica al suelo y su participación en los ciclos naturales. Este proceso de descomposición se sustenta en la acción de bacterias y hongos, y su duración puede variar en función de diversos factores, entre ellos, el tipo de sistema empleado, tecnología, y la disponibilidad del espacio que en promedio serán 10 y 16 semanas. La mitigación y reducción de los residuos del café (pulpa), son las alternativas que nos brinda el compostaje, el compostaje en los últimos tiempos se convirtió en la opción más viable para la gestión de fracciones orgánicas de los residuos sólidos, tanto urbanos como agrícolas, puede abordarse mediante procesos de compostaje. En este contexto, la pulpa de café presenta características óptimas para dicho proceso, debido a su elevado contenido de azúcares, una relación carbono/nitrógeno favorable (25-30:1) y un tamaño de partícula adecuado. Estas propiedades hacen del compostaje una alternativa viable y eficaz para el manejo de este residuo. (Rojas & Zeledón, 2007)

2.4. Parámetros de control durante el proceso de compostaje

El compost es el resultado de la transformación de diversos materiales de origen orgánico mediante un proceso biológico controlado. Su apariencia es similar a la de la tierra, carece de olores desagradables y está libre de patógenos, empleado como sustituyente de abonos y fertilizantes químicos u orgánicos (Haug, 1993), el proceso está en constante afectación del microorganismo por lo que no requiere demasiado control el proceso, los componentes que lo conforman son: la aeración, la temperatura, el contenido de humedad, pH y la relación C/N (Holgado & col, 1988).

2.4.1. Aeración

El compostaje es un proceso que está sometido a las condiciones aeróbicas, por lo tanto, es importante la presencia del oxígeno para el desarrollo del microorganismo en ella, además se asegura el oxígeno adecuado para lo microorganismo para que permita la liberación del dióxido de carbono La aeración debe ser regulado en rangos apropiados son los requerimientos, son bajas en la etapa de mesófila y obteniendo un máximo en etapas termófila Ledezma (2009). Una ventilación deficiente en el compostaje provoca el reemplazo de microorganismos aeróbicos por anaeróbicos, lo que retrasa la descomposición y genera compuestos como sulfuro de hidrógeno, responsables de olores desagradables (Bidlingmaier, 1996). Durante la fase de maduración, no se recomienda añadir oxígeno, ya que una aireación excesiva puede provocar la degradación acelerada de los compuestos húmicos y su mineralización prematura (Tomati & col., 2000).

2.4.2. Humedad

En el compostaje la humedad total, esta sometidos al contenido de agua de la materia prima, la actividad de los microorganismos, temperatura y oxígeno. La actividad microbiana relacionado con el crecimiento y división celular requiere unas óptimas condiciones de humedad (Caso & Herraio, 2008). La humedad de la pila de compostaje es imprescindible para transportar sustancia y nutrientes durante el proceso de compostaje, en consecuencia, siendo más fácil para los microorganismo, si la humedad llega estar por debajo del 40 % - 45 %, la actividad microbiana disminuirá , esto se debe a que los hongos permanecen más tiempo a humedades más bajas, no obstante humedades mejores del 20% puede ocasionar daños en la actividad, también humedades mayores al 65% puede resultar en donaciones anaeróbicas y nutrientes por lixiviación (Shulze, 1962).

2.4.3. Temperatura

Este parámetro tiene la función de desintegración, la temperatura recomendada oscila entre 45° C y 59°C, las temperaturas debajo de 20°C obstruyen el desarrollo

microbiano, si la temperatura es mayor a 50°C gran parte de la población microbiana se eliminan; en consecuencia, disminuye la descomposición microbiana Casco y Herrero, (2008). Al disponer el material a descomponer en pilas, si las condiciones son adecuadas, empieza la actividad microbiana. Al inicio todo material está a la misma condición de temperatura, pero cuando crecen los microorganismos se genera calor y esto aumenta la temperatura. El síntoma más notorio de la actividad es el incremento de temperatura del residuo compostado, por lo que la temperatura siempre ha sido una variable considerada fundamental en la inspección del compostaje (Liang & col. 2003; Miyatake & col, 2006).

2.4.4. pH

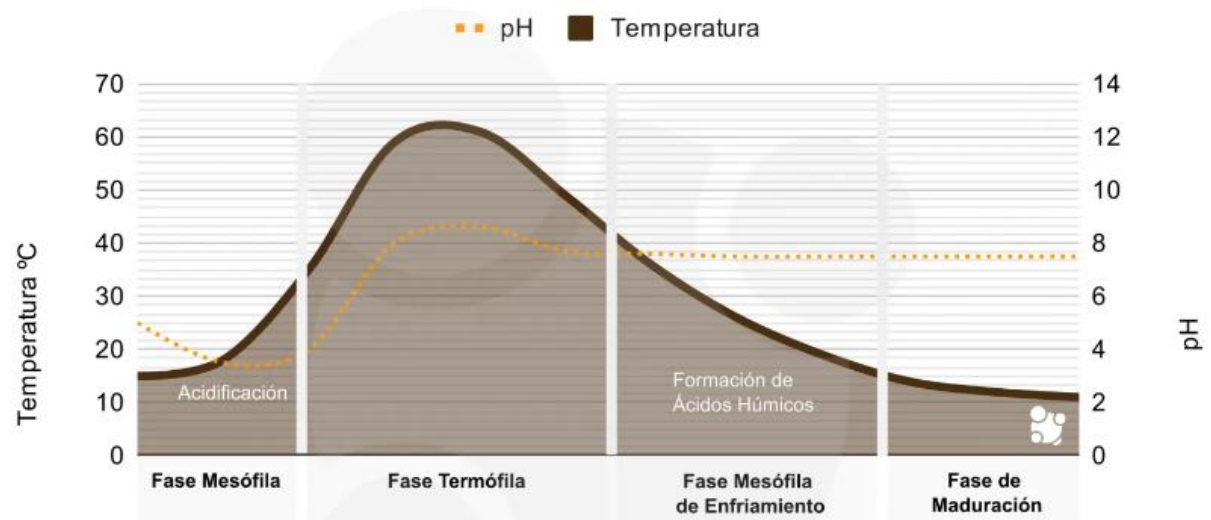
Casco & Herrero (2008) menciona que al igual que los parámetros de temperatura su evolución durante el compostaje mantiene una curva típica esto dependiendo de en la fase en la que se encuentra, la actividad metabólica de los microorganismos altera cambios en los datos del pH, las bacterias optan por pH entre 6 y 7.5, mientras que los hongos soportan 5.5 y 8, si el pH está por debajo del 6 los procesos microbianos, especialmente las bacterias detienen su actividad, los pH cercanos a 9 benefician en la transformación de nitrógeno a amonio, en consecuencia afectando negativamente el crecimiento de la actividad microbiana. Cada especie de microorganismos tiene su temperatura donde están adecuados óptimamente para su actividad, es más efectiva: 15-40 °C para los microorganismos mesófilos y 40 y 70n °C para los termófilos (Suler & col, 1977).

2.5. Fases del compost y calidad

El compost se define como conjunto de procesos metabólicos realizado por diferentes microorganismos, donde la humedad y la temperatura juegan un papel importante; esta dado por cuatro etapas: **fase mesófila** con una temperatura superando los 45°C donde es remplazado os microorganismos mesófilos por los termófilos, estas tienen la capacidad de descomponer fuentes muy complejas como ceras, celulosas, acelerando el procesos de degradación de la pila del residuo orgánicos (Pantoja, A. 2012); **fase termófila** consiste en la colonización aclimatación de los microorganismos con el material orgánico y su multiplicación de estas. La fase inicial comienza con una temperatura ambiente (20°C a 40°C), una duración de 3 a 8 días (Román, p, 2013); el tercer proceso llamado fase de **enfrenamiento o mesófila II**, culminado la fase dos llega a un punto donde la temperatura comienza a descender, en esta fase los microorganismo mesófilos reaparecen y siguen con el procesos de degradación, pudiendo verse hongos visibles a simple vista (Martínez, 2013); el proceso final llamado **fase de maduración**, es la fase con el periodo de tiempo más largo respecto a las demás, una fermentación lenta que dura meses, la mezcla es enfriada a temperatura ambiente, donde el pH

alcanza un valor neutro de 7, permitiendo la apariciones de nuevas poblaciones de microorganismo como insectos y ácaros que son los encargados de complementar la transformación del compost (manual del compostaje del agricultor, 2013).

figura 1: Curva del proceso del compostaje.



Fuente: CSR LABORATORIO

2.5.1. Criterios de calidad de compost

Según Haug (1993). Aun no existe un concepto básico para definir el concepto de compost, por lo contrario, depende al uso al que será estimado, pero el compost puede definirse como un recurso capaz de satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas, generando un impacto ambiental mínimo y sin representar riesgos para la salud pública. Según la legislación española un compost de clase B, por la cabida de metales pesados, resultaría intolerable e inadmisibles para el uso como componente de sustratos en cualquier cultivo comestible, además, no representa ningún riesgo para el sellado de vertederos ni para la recuperación de suelos afectados por actividades industriales o mineras. Por lo tanto, la calidad del compost puede evaluarse en función de su grado de madurez, carga bacteriológica y sus propiedades físicas y químicas, según los distintos usos a los que se destine, (Laboratorio AIMPLAS, 2022).

2.5.2. Calidad de compost

Florido & Bailón, (2021). La calidad de los productos orgánicos es relevante, en consecuencia, la evaluación de sus principales indicadores físicos y químicos como humedad, olor, color, pH, MO, N, P y bases como Ca, K y Mg que permiten determinar la calidad y la madurez del material compostado. A cerca de la calidad expresado, Calidad de compost se podría definir aquel que cumpla con las características amigas con el medio ambiente al aplicarlo, al proyectar las características inmejorables, determinar el contenido de

materia orgánica y nutrientes en el compost puede resultar complejo, ya que estos dependen en gran medida de los materiales utilizados en su elaboración. La mayoría de las normativas actuales se enfocan principalmente en regular los niveles de metales pesados, mientras que suelen ser menos estrictas respecto a los parámetros agronómicos.

La calidad del compost se determina a partir de un conjunto de propiedades y características. En cuanto a la calidad física, se consideran aspectos como la granulometría, la capacidad de retención de humedad, la presencia de partículas finas y el olor. La calidad química abarca tres aspectos principales: el contenido y la estabilidad de la materia orgánica, la concentración y la velocidad de liberación de nutrientes para las plantas, y la posible presencia de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos. Finalmente, la calidad biológica se evalúa a través de la presencia de semillas de malezas y de patógenos primarios y secundarios (Haug, 1993). Dentro de los niveles de calidad, también se debe evaluar distintas exigencias según al mercado que esta estará destinada, pero siempre habrá parámetros mínimos a cumplir para cualquier aplicación (López & Soliva, 2004).

Según Uribe (2003), la calidad del compost que se obtiene al final del proceso está determinada por una serie de factores que actúan a lo largo de las fases de fermentación y maduración. Estos factores no se mantienen constantes, sino que tienden a fluctuar dentro de ciertos márgenes, principalmente debido a la variabilidad de los residuos orgánicos utilizados como materia prima. Esta mezcla inicial suele ser heterogénea en su composición, lo que se ve acentuado por cambios estacionales que afectan la naturaleza y proporción de los materiales orgánicos disponibles. Entre los parámetros más relevantes que influyen en el desarrollo del compost se encuentran la temperatura del proceso, el nivel de humedad, la proporción entre carbono y nitrógeno (C/N), la disponibilidad de oxígeno para mantener condiciones aeróbicas, y el pH del material en descomposición. Todos estos elementos interactúan entre sí, y su control adecuado es fundamental para obtener un compost de buena calidad, tanto desde el punto de vista agronómico como ambiental.

2.6. Café

Según León (2000), los cafetos son arbustos que pertenecen a las regiones tropicales. Con hojas resistentes, opuestas, con una sombra mínima pueden crecer mejor: requieren temperatura blanda. Lo habitual es ser cultivado en regiones ecuatoriales y tropicales, donde permanece la primavera y verano. La etapa de floración es en épocas de lluvia, con flores blancas y perfumadas, después de los 8 meses aparecen los frutos que son carnosos y rojos semejantes a las cerezas.

2.6.1. Pulpa de café

El café es una planta tropical perenne perteneciente a la familia Rubiaceae. La variedad arábica representa aproximadamente el 60 % del café comercializado a nivel mundial y es reconocida como la de mayor calidad debido a sus destacadas propiedades organolépticas, las cuales se atribuyen a su compleja composición química. En contraste, la especie *Coffea canephora* (conocida como robusta) contiene niveles más altos de cafeína y muestra una mayor resistencia a enfermedades como la roya. Esta variedad representa alrededor del 20 % de la producción mundial, mientras que el resto corresponde al café arábica. En el caso del Perú, el cultivo de café constituye una actividad clave para la economía nacional. A pesar de enfrentar dificultades como la crisis del sector, los elevados costos de producción y los bajos rendimientos, el café sigue siendo un pilar fundamental para el desarrollo rural del país. (Cerna & Torres, 2018).

Según Agronegocio, (2020); La pulpa de café es un subproducto de textura fibrosa y mucilaginoso que se obtiene durante el procesamiento del café por vía húmeda. Este residuo representa aproximadamente el 40 % del peso total del fruto o cereza de café. Se trata de la capa externa del fruto, que presenta una coloración roja o amarilla según la variedad, y que, al estar fresca, contiene un alto nivel de humedad. Además, es rica en diversos nutrientes esenciales como potasio, magnesio, calcio, nitrógeno, hierro, azufre, manganeso y boro. En países productores como el Perú, estos subproductos generan importantes desafíos ambientales debido a su volumen y dificultad de manejo, convirtiéndose en una fuente de contaminación. Por esta razón, desde mediados del siglo XX se han venido desarrollando alternativas para aprovechar esta biomasa, con fines como la producción de biogás, abonos orgánicos, alimentos con alto contenido proteico, entre otros.

Suárez, (2012), el aprovechamiento de la pulpa de café ha sido objeto de numerosos estudios, los cuales han demostrado que los residuos generados durante el cultivo y procesamiento del café pueden ser reutilizados de diversas maneras, siendo una de las más comunes la producción de abonos orgánicos. Durante el proceso de despulpado, una de las etapas clave en el tratamiento del café, se genera una cantidad considerable de residuos, que representa aproximadamente el 40 % del peso total del fruto. Este subproducto, si no se maneja adecuadamente, se convierte en una fuente significativa de contaminación, especialmente de cuerpos de agua cercanos a las zonas cafetaleras, debido al vertido directo o a la descomposición inadecuada de la pulpa, se estima que, por cada tonelada de café procesado mediante el método húmedo, se producen alrededor de 500 kilogramos de pulpa de café. En cambio, cuando el

procesamiento se realiza por la vía seca, el residuo generado es diferente: se denomina cáscara de café y su volumen es considerablemente menor, con una producción estimada de solo 90 kilogramos por tonelada de café. Estas diferencias en cantidad y tipo de residuo han llevado a buscar soluciones sostenibles para su aprovechamiento, reduciendo así el impacto ambiental asociado a la actividad cafetalera

2.7. Importancia de la altura

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA (2020), se sabe que la altura es un factor que está directamente relacionado con el tamaño de la pulpa y el sabor del café, la altitud afecta directamente la temperatura, radiación y precipitación. Según estudios el café se desarrolla perfecto entre 500 a 1700 m.s.n.m. Su densidad alta ocurre en parte al desarrollo parsimonioso que ocurre en las zonas de gran altura. En consecuencia, estos granos tienen o tendrían una fisura cerrada en forma de zigzag o sutilmente torcida. Por lo contrario, a menor altura los granos suelen a ser menos densos y con una fisura semi abierta, pero para que este cultivo de todo su potencial se debe seleccionar la variedad correcta para que se adapte a estas condiciones dadas. La altura influye directamente en la dimensión, forma y sabor del café. La mayoría de las personas opinan que, a mayor altura, la calidad será mejor; pero lo cierto es que no existe una altura ideal de manera genérica, va a depender de la variedad del café que se cultiva y lo que se quiere obtener.

2.7.1. Gradiente altitudinal y las características del agroecosistema

Según Asner & Martin, (2016), Por lo general las tierras del trópico peruano presentan geomorfología muy surtido, con mayor evidencia la provincia de Leoncio Prado cuenta con gradientes de altura elevados en su flanco oriental que oscilan desde los 600 a 1700 msnm, con una topografía variada, en algunas zonas del trópico la altitud puede alcanzar hasta los 3500 msnm. La altura influye en las condiciones del climáticas, biología del suelo, propiedades fisicoquímicas, en la poblacional estructural, y la fisiología de la especie (Murga et al., 2021). El clima y suministro de nutrientes se ven influenciados por los gradientes de altitud, ya que este tiene la disposición de regular los procesos fisiológicos del bosque tropical (Bahar, 2017).

2.7.2. Gradiente altitudinal y materia orgánica en el suelo

A menor altura la capacidad de descomposición disminuye, en consecuencia, de la reducción de la temperatura y aumento de la saturación de suelo, alterando los procesos de óxido de reducción (Wang , 2016). El gradiente de 0 m y 3000 msnm incrementa el horizonte orgánico, contribuyendo al aumento de MO y COT en el suelo, esto se debe por

reducción de la biotransformación del carbono orgánico hacia el carbono mineral (Murga, 2021). En los gradientes que superan los 3000 msnm se observa lo contrario, donde se ve disminuida de la materia orgánica y espesor del horizonte orgánico; esto se debe a la baja producción de biomasa por parte de los vegetales, en consecuencia, de menor disponibilidad de humedad en el perfil, disminuye a actividad bioquímica por las bajas temperaturas y merma la disponibilidad de nutrientes (Llambí, 2020).

2.7.3. Gradiente de altitudinal y la calidad de café

La altura es un factor que modifica las condiciones climáticas para el posterior desarrollo del cultivo de café, puesto que a mayor altitud la temperatura disminuye (Jaramillo, 2005), se conoce que la temperatura óptima para el desarrollo esta entre 10- 21 C°, cuando la temperatura está por debajo de esta el tiempo de producción es más tardía, mientras que temperaturas mayores a esta los frutos o el llenado desciende (Jaramillo, 2016).

La variable clima más importante es la temperatura, importante en las necesidades fisiológicas de las plantas (Dos Santos, 2015); hay evidencias de que si la temperatura varía un 1 C° causa daños a los cultivos de café (Peltonen-Sainio, 2016), otras variables que como las preocupaciones extremas y demasiado calor generan estrés fisiológico y estrés hídrico en las plantas (Cremonese, 2017)). Por todos estos factores que conlleva el clima impulsa a los caficultores a áreas de gradientes altitudinales mayores en busca de mejores climas, suelo y agua (Bakri, 2018) que garantice óptimas condiciones y una producción rentable y sostenible del cultivo de café.

En consecuencia, del cambio climático se adaptaron diseñando respuestas para la mitigación a las nuevas circunstancias ambientales como el empleo de árboles de sombra (Bakri, 2018). La relevancia económica y comercial del café está estrechamente vinculada a la calidad del grano, la cual depende de sus propiedades físicas y químicas. Estas características pueden verse alteradas por desequilibrios climáticos, como el exceso o la escasez de precipitaciones y temperaturas inadecuadas. Un aumento en la temperatura, por ejemplo, tiene un efecto negativo tanto en el rendimiento como en la calidad del grano, generando una mayor proporción de granos defectuosos y de menor peso (Ramalho, 2018).

Cuando se habla del consumo la altura influye bastante, que producirá una tasa de mayor acidez, será más aromática y gustosa a comparación de menor altitud que tendrá una acidez baja y menos carácter en la taza, se sabe que por lo general un café sembrado a una altura de más de 1500 metros tendrá un indicador de buen sabor. Por qué la mejor calidad de

café se encuentra a mayor altitud, esto se debe a la diferencia de temperatura entre la noche y el día que a mayor altitud se ralentiza el metabolismo de los cafetos, en consecuencia, en la planta provoca que aumente la producción de azúcares en la pulpa y también de la acidez, aseguro que los cafetos en altitud reciben mejor el sol de la mañana produciendo mejor café y realizando mejor la fotosíntesis (Salvador, 2016).

2.7.4. Tamaño y peso de granos de café en relación con rango altitudinales

La altura es una variable que modifica las condiciones climáticas convenientes para el desarrollo del cultivo de café, puesto que a mayor altura la temperatura disminuye (Montoya & Jaramillo, 2016) dan a conocer que los rangos óptimos de temperatura para el desarrollo del cultivo oscilan entre 18- 21°C; cuando es menor que esta alarga el tiempo para la producción de la planta, por otro lado, a mayor temperatura afectan el colmado de los frutos.

La variabilidad climática tiene un impacto directo sobre la economía y el comercio del café, debido a su influencia en la calidad del grano, tanto en sus características físicas como químicas. Cambios extremos en las condiciones ambientales, como el aumento excesivo de la temperatura y la intensidad de las precipitaciones, alteran significativamente los procesos fisiológicos de la planta. Según Ramalho, (2018), el incremento de la temperatura repercute negativamente en el rendimiento y la calidad del café, ya que puede acelerar el desarrollo del fruto, generando su desprendimiento prematuro, así como un mayor porcentaje de granos defectuosos y de menor peso. Estas alteraciones afectan la uniformidad y el valor comercial del producto final, comprometiendo tanto la productividad como la competitividad del cultivo en los mercados especializados.

En el ámbito fitosanitario, mediante una valoración de infestación de broca a diferentes pisos de altitud se estableció, e observó que el daño en los frutos, medido por el número de orificios y la cantidad de insectos adultos presentes, fue menor en las zonas de altitud media y alta. Esto sugiere que las plagas tienden a ser más agresivas en áreas con temperaturas elevadas (Asfaw, 2019). En cuanto a la relación entre la altitud y la calidad del grano, un estudio comparativo mostró que los frutos cosechados a 1050 m s. n. m. presentaron características de calidad superiores en comparación con aquellos recolectados a 850 m s. n. m. (Carmona, 2020). Estos resultados evidencian una correlación positiva entre la altitud y la calidad del grano de

café.

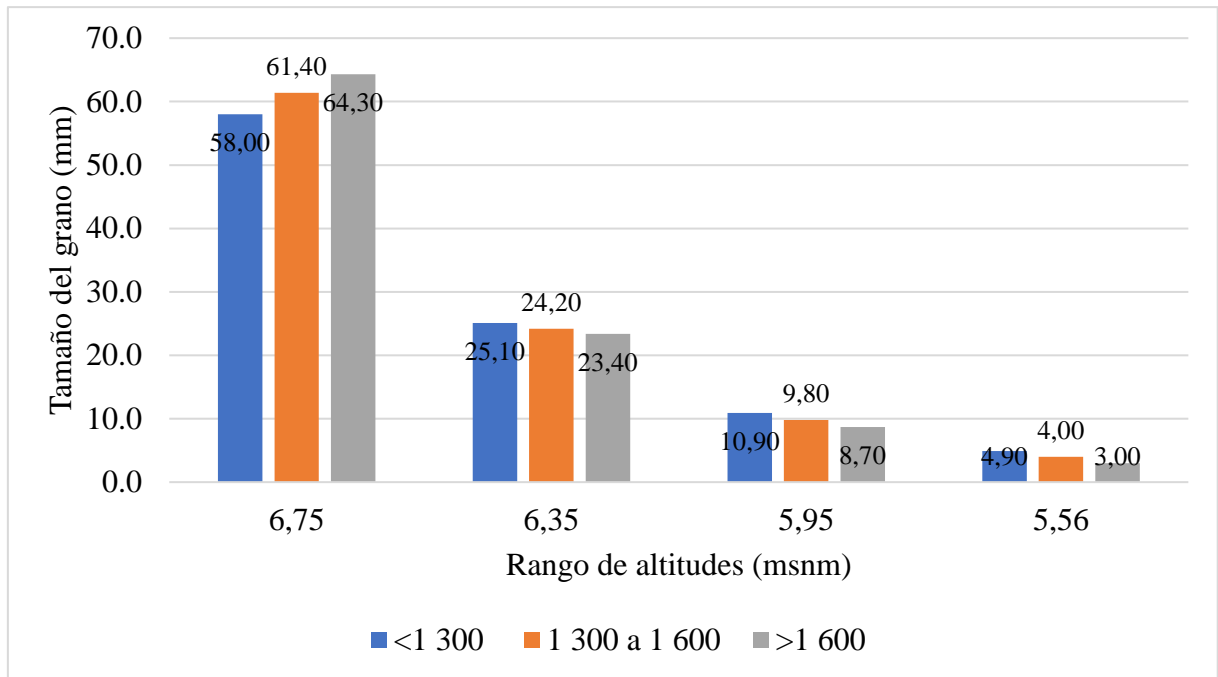


Figura 2. Tamaño del grano de café Caturra según la altitud

Fuente: CENICAFÉ (2013)

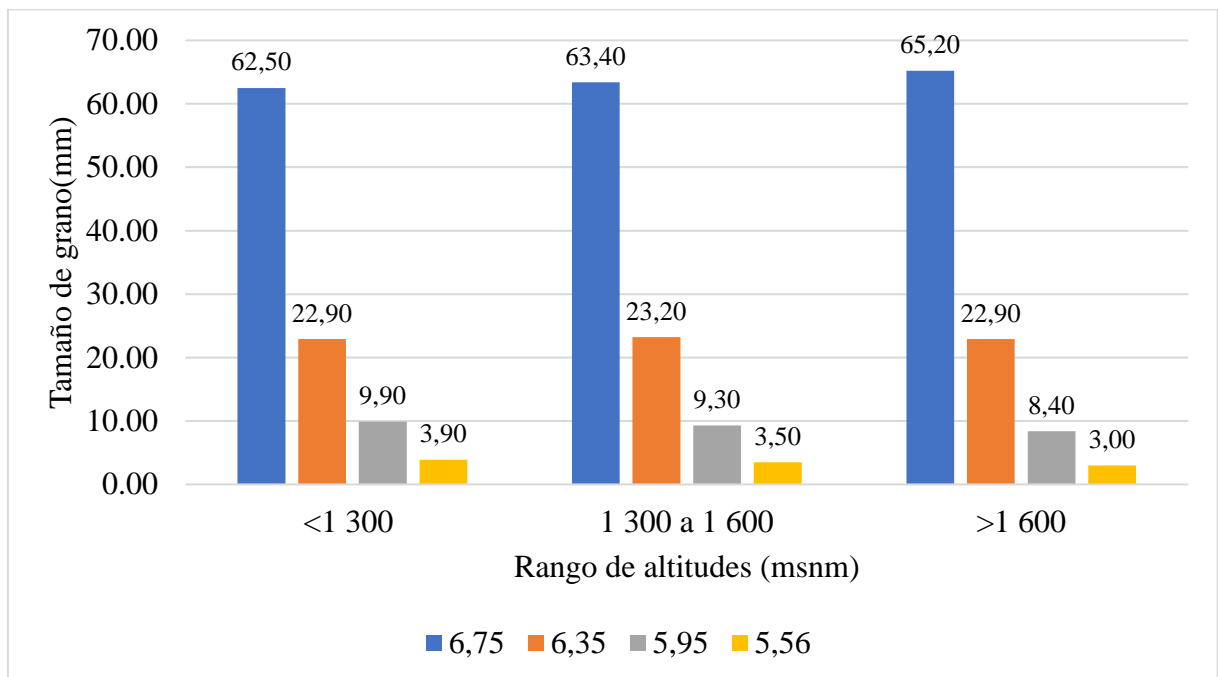


Figura 3. Tamaño del grano de café Colombia según la altitud

Fuente: CENICAFÉ (2013)

En la figura 1 y 2, se constata las evidencias que las semillas tienen mejor calidad a mayor altura, la altura, las condiciones ambientales del ecosistema que se genera a mayor altura hacen que la calidad sea mayor, esto debido a que influyen en mayor manera la

proliferación y el desarrollo de agentes de patógenos que estas producen daños directos e indirectos sobre semillas y frutos,

2.8. Variedades de café en el Perú

El Perú por sus bondades y condiciones favorables de clima para la producción, se puede aprovechar de las experiencias de los agricultores, ya que en Perú se lleva muchas décadas cultivando variedades de alta calidad como típica y bourbon. Perú cuenta con variedades arábicas como, típica, bourbon y pache que son producidos bajo sombra y son amistosos con el medio ambiente. Las zonas de cultivo oscilan encima de los 1000 m.s.n.m con características de taza de buen sabor, acidez, cuerpo y aroma. **Llamada “Caturra”** cuya palabra deriva de la lengua indígena guaraní y significa “pequeño”. La variedad es distinguible por su corto tamaño. Características: Tiene una altura baja y compacta. El color del cogollo de sus hojas es verde, su fruto tiene un tamaño promedio. Tiene un alto potencial de rendimiento. elabora una bebida balanceada, dulce, con acidez brillante y cuerpo medio. La taza resultante que produce el fruto es de alta calidad. Sus hojas son de color verde oscuro, más claras a diferencia del resto de los cafetos. Sus hojas son grandes, redondas y anchas. Su textura puede ser áspera. **Típica**, sus características para su fácil identificación son por su forma cónica, con un tronco vertical que pueden alcanzar 5 metros de altura, implica que las ramas y los nudos tienen una separación mayor que a las otras variedades, sus ramas y troncos no suelen ser gruesos, sus hojas, sus cerezas y granos verdes son de forma alargados. Cuando los frutos están maduros se tornan de rojo brillante. **Bourbon**, tiene las mismas características que las típicas en altura y forma cónica, se diferencia que es más frondosa que las típicas y con más ramas secundarios, el tronco principal más grueso y las ramas también, donde un aspecto más robusto, menos flexible que la típica. Además, la distancia de los nudos y las ramas son más cortos, teniendo una productividad de 30% más respecto a la típica, sus hojas jóvenes son de color verde, a veces tienen puntas bronceadas. Las cerezas son redondas y cuando maduran se tiñen de una gama de rojo con tonos de naranja y amarillo (Junta Nacional de café- JNC, 2020).

2.9. Estado del arte

2.9.1. A nivel internacional

Valencia, (2021), al abordar la problemática del manejo inadecuado de los residuos de café en el municipio de Yocoto, identificó que la única práctica utilizada era el almacenamiento en fosas, lo cual no cumple con los estándares higiénicos necesarios. Como alternativa, se propuso utilizar los residuos de la pulpa de café en procesos de compostaje. Para ello, se realizó una identificación de los residuos orgánicos generados por actividades

agropecuarias caseras en la vereda +, y se implementaron tres tratamientos experimentales, cada uno con tres repeticiones. Durante el estudio, se monitorearon variables fisicoquímicas clave como el pH, la humedad, la temperatura y la relación carbono/nitrógeno (C/N). Tras evaluar los tres tratamientos (T1, T2 y T3), se determinó que el tratamiento T3 ofrecía los mejores resultados para el manejo de los residuos del café. En este tratamiento, la pulpa de café fue compostada junto con residuos de recolección como el vástago de plátano, obteniendo valores dentro del rango adecuado para un compost de calidad, rico en potasio, calcio, magnesio, entre otros nutrientes. Además, esta alternativa resulta viable para los agricultores, ya que aprovecha la asociación natural entre cultivos de café y plátano, convirtiéndose en una solución sostenible que contribuye a reducir el impacto ambiental causado por los subproductos del café.

Pierre, T., & Rosell, P. (2009). En la localidad productora de Caspito, municipio Andrés Eloy Blanco, estado Lara, se llevó a cabo la caracterización química y biológica de compost elaborado a partir de pulpa de café. El experimento se desarrolló bajo un diseño completamente aleatorizado, con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Se mezcló pulpa de café (PC) con estiércol de caprino (EDC) en las siguientes proporciones: 1:1 (T1), 1:0,5 (T2) y 1:0,33 (T3). A cada mezcla se le incorporó un 10 % de pergamino de café y vástago de cambur picado, además de 0,5 % de urea y 0,8 % de cal dolomítica. Las combinaciones fueron organizadas en pilas, cubiertas y volteadas semanalmente. Se evaluaron diversas propiedades del compost, incluyendo temperatura, pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica (MO), relación carbono/nitrógeno (C/N), macroelementos (N, P, K, Ca, Mg), microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn), carbono orgánico extraíble (COE), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), el indicador de humificación (IH) y el grado de humificación (GH). Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) en los niveles de cobre (Cu) y en el IH. Asimismo, se registraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) en el contenido de materia orgánica, la relación C/N, el hierro (Fe) y el GH. En general, los tratamientos T1 y T2 mostraron los mejores resultados en la mayoría de las variables analizadas. No obstante, todos los compost evaluados presentaron valores dentro de los rangos considerados adecuados para su uso agrícola.

Vásquez, (2010), desarrollaron una investigación en la que incorporaron el uso de microorganismos específicos con el objetivo de acelerar el proceso natural de descomposición orgánica, el cual, bajo métodos tradicionales, suele demorar aproximadamente 150 días. La finalidad de esta estrategia fue reducir significativamente el tiempo necesario para completar el compostaje, logrando que este se llevara a cabo en tan solo 120 días. Los resultados

obtenidos en el estudio permitieron confirmar, de manera experimental, que es posible optimizar el proceso de compostaje mediante la incorporación de microorganismos eficientes. Esta intervención no solo logró reducir el tiempo de descomposición a menos de un tercio del requerido convencionalmente, sino que también permitió obtener un sustrato orgánico de calidad adecuada al finalizar el tratamiento. En consecuencia, el uso de estos microorganismos representa una alternativa viable y eficaz para mejorar la eficiencia del compostaje, favoreciendo prácticas agrícolas más sostenibles y productivas.

Cuellar, (2022) desarrolló un estudio sobre el compostaje de pulpa de café utilizando microorganismos eficientes de montaña en el municipio de Pitalito, Huila, con el objetivo de explorar alternativas económicas y ambientalmente sostenibles para el manejo de residuos orgánicos. El proceso se inició con la recolección de 4 kilogramos de materia orgánica provenientes de una finca. Al día siguiente, se procedió a la estimulación del material mediante la adición de 4 kilogramos de salvado de trigo y melaza, con el fin de humidificar adecuadamente el residuo y propiciar condiciones óptimas para el desarrollo microbiano, logrando así la obtención de 10 kilogramos de microorganismos. Pasados 32 días, se incorporaron al proceso 4 kilogramos de estos microorganismos ya activados, junto con 10 kilogramos de maleza, 2 litros de leche y 2 kilogramos de cal, disueltos en 200 litros de agua, formando una mezcla destinada a potenciar la actividad microbiana. Tres días después, se añadió un volumen considerable de pulpa de café, equivalente a 2.000 kilogramos. A los 15 días se realizó el primer volteo del material, y tras 30 días adicionales, se obtuvo compost completamente maduro a partir de la pulpa de café. El estudio permitió establecer que con 200 litros de esta solución activadora es posible procesar hasta 2 toneladas de pulpa de café. Asimismo, se concluyó que con cada 4 kilogramos del semillero de microorganismos se pueden obtener aproximadamente 600 litros del producto activado, cantidad suficiente para tratar hasta 6 toneladas de pulpa de café. Estos resultados evidencian la viabilidad técnica del uso de microorganismos de montaña como una herramienta eficiente y sostenible en la producción de compost.

2.9.2. A nivel nacional

Ramírez, A., Huamán, N. (2023). Realizaron un análisis del compost elaborado a partir de pulpa de café combinada con estiércol ovino en la región selvática de Junín, Perú. El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y T4), los cuales incluían combinaciones de pulpa de café, gallinaza, restos vegetales y melaza como acelerador del proceso de compostaje.

A su vez, se establecieron tres bloques (B1, B2 y B3), representando distintas variaciones del estiércol de oveja. Durante el proceso, se evaluaron diversos parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica (C.E), materia orgánica (M.O.), nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO), humedad y sodio (Na). El procesamiento y la interpretación de los datos se realizaron mediante el software estadístico R-Studio, y los resultados fueron contrastados con los criterios establecidos en la Norma Chilena NOCh 2880, la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 y las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS)..Los valores promedio obtenidos del compost fueron considerados adecuados de acuerdo con dichas normativas, reportándose los siguientes resultados: pH de 8.04, conductividad eléctrica de 5.07 dS/m, materia orgánica de 34.00%, nitrógeno total de 1.71%, fósforo (P_2O_5) de 0.58%, potasio (K_2O) de 1.86%, óxido de calcio (CaO) de 4.04% y sodio (Na) de 0.11%. En cuanto al óxido de magnesio (MgO), su presencia dentro de los rangos normativos se evidenció únicamente en las muestras correspondientes a los tratamientos T1B1, T1B2, T1B3, T2B1 y T2B3. Asimismo, los valores de humedad adecuados se observaron únicamente en los tratamientos T1B1, T2B1 y T2B3. Estos resultados respaldan la viabilidad del uso de pulpa de café junto con estiércol ovino y otros residuos orgánicos como insumos efectivos en la producción de compost de buena calidad, cumpliendo con los requisitos técnicos y ambientales establecidos por las normativas internacionales.

Ludeña Quinde, G (2020), llevó a cabo una investigación orientada al aprovechamiento de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.) como enmienda orgánica para mejorar el contenido de materia orgánica en los suelos del distrito de San Ignacio, en Chiclayo – Perú. El estudio contempló la aplicación de dos tratamientos, mediante los cuales se evaluaron los niveles de materia orgánica y otros elementos presentes en el suelo durante un período de 112 días con la aplicación de pulpa de café en condiciones ambientales, y durante 58 días con la aplicación de pulpa previamente tratada. Los resultados obtenidos demostraron un incremento significativo en los niveles de materia orgánica del suelo, con aumentos del 29% y 59% en comparación con los valores iniciales, y del 16% y 23 % en relación con el tratamiento de control. Además, se registraron incrementos variables en otros parámetros fisicoquímicos del suelo, como el pH, contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, conductividad eléctrica y carbono. Estos hallazgos evidencian los beneficios potenciales del uso de la pulpa de café como enmienda orgánica, no solo por su capacidad de mejorar la calidad del suelo, sino también por su contribución a la mitigación del impacto ambiental que genera la inadecuada disposición de este subproducto agrícola.

Rivera, Sosa & Ore Huamanchaqui (2018), desarrollaron un estudio enfocado en la evaluación del uso de la cáscara del fruto de café (*Coffea arabica*) proveniente de la región de Cajamarca, con el propósito de transformarla en compost utilizable como fertilizante orgánico. La materia prima fue recolectada en el caserío El Tayme, ubicado en el distrito de Querocotillo, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca. Para el desarrollo del experimento se utilizaron seis cajas de madera como contenedores para almacenar la pulpa de café, aplicando dos tratamientos diferenciados: el tratamiento C1 sin incorporación de microorganismos eficientes y el tratamiento C2, al cual se añadieron microorganismos eficientes en una proporción de 100 ml por kilogramo de residuo. El proceso de compostaje se extendió durante 60 días, con volteos regulares para facilitar la aireación y acelerar la descomposición. La evaluación de los resultados se realizó mediante la prueba estadística t de Student, comparando las medias obtenidas en ambos tratamientos. Los análisis químicos de la cáscara compostada revelaron los siguientes valores: pH de 9.32, conductividad eléctrica de 5.82 mS/cm, humedad del 38.65%, contenido de materia orgánica del 55.43%, nitrógeno 1.93%, fósforo 1.94%, potasio 0.12%, calcio 0.41% y magnesio 0.21%, además del color cereza característico del compost. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos de materia orgánica y fósforo al comparar los tratamientos, mientras que para el nitrógeno y el potasio no se evidenciaron diferencias significativas. No obstante, se observó que la presencia de microorganismos eficientes favoreció el proceso de compostaje en general, ya que contribuyen a una mejor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Asimismo, factores como el pH y la conductividad eléctrica reflejaron condiciones óptimas para la actividad microbiana, potenciando la transformación de los residuos en un abono orgánico de calidad.

Yrwin, F., & Ruiz, R. (2014). llevaron a cabo una investigación centrada en el aprovechamiento integral de la pulpa de café como residuo agrícola, así como en el tratamiento de las aguas mieles mediante procesos de biorremediación, en la región de Alto Mayo, Tarapoto – Perú. El estudio se desarrolló en dos fases. En la primera, se implementó un proceso de agitación anaeróbica con el objetivo de eliminar los azúcares no reductores presentes en la pulpa de café. La segunda fase consistió en el tratamiento de las aguas mieles, aplicando un modelo de biorremediación basado en el uso de microorganismos eficientes y macrófitas acuáticas. Entre los principales resultados obtenidos, se reportó una concentración de 18,8 g/L de azúcares reductores generales extraídos a partir de pulpa de café seca, y una producción de bioetanol equivalente al 2,0% por cada litro de jugo fermentado. Asimismo, se identificó al ácido gálico como el polifenol predominante y de mayor rendimiento, con una concentración

de 4.555,2 mg/kg de pulpa seca. En cuanto al tratamiento de las aguas mieles, se observó una reducción significativa de los niveles de demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), aunque sin alcanzar valores por debajo de los límites máximos permisibles (LMP). Sin embargo, los sólidos totales suspendidos (STS) sí fueron reducidos por debajo de dichos límites, al igual que los nitratos. Además, tanto el pH como la temperatura se mantuvieron dentro de los rangos establecidos por los LMP. En conclusión, el estudio demostró que es técnicamente viable la valorización de los residuos agrícolas del café, como la pulpa y las aguas mieles, mediante procesos de transformación que permiten generar subproductos útiles —como bioetanol y compuestos bioactivos— y, al mismo tiempo, mitigar los impactos ambientales negativos asociados al mal manejo de estos desechos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

Leoncio Prado es una provincia ubicada en la región de Huánuco, en la zona centro-oriental del Perú, situada a 135 km de la ciudad de Huánuco y a una altitud de 647 metros sobre el nivel del mar. La pulpa de café fue extraída en el fundo de la familia Salas, ubicado en el centro poblado de Libertad, a aproximadamente tres horas de Supte.

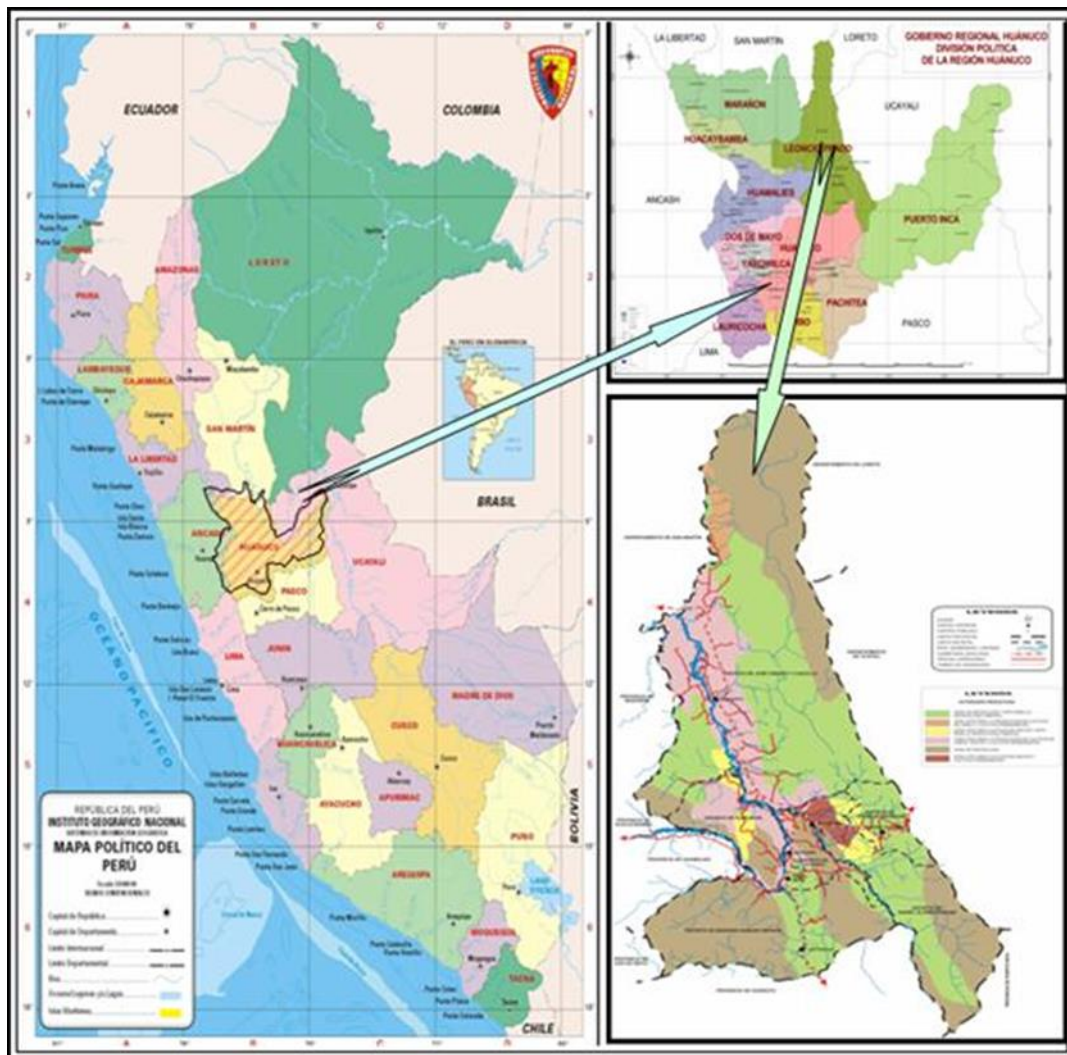


Figura 4: Ubicación del área de estudio.

3.1.1. Características generales del área de estudio

Con una temperatura de 30 C°, siendo cálido y húmedo (tropical), con calor intenso en el día y disminuye de noche. La precipitación almacenado anual de 2 848 mm y el lapso superávit acopiados mensuales de lluvia que fluctúa desde noviembre hasta marzo, con un almacenado mensual de 335 mm. La temperatura máxima del aire se mantiene en torno a los 30°C a lo largo del año, presentando una variación térmica de aproximadamente 3°C, con

los valores más bajos registrados en enero y los más altos en octubre. Por otro lado, la temperatura mínima promedio es de alrededor de 19°C, con un rango térmico de 4°C, mostrando sus puntos mínimos en julio y máximos en diciembre (SENAMHI, 2021)

3.1.2. Vías de acceso

Vía aérea: Por la Corporación Peruana de Aeropuertos Civiles. El tiempo de vuelo que demora desde lima es de 40 minutos. Terrestre: se puede llegar de diferentes carreteras, ya que las vías terrestres del centro oriente peruano se encuentra en condiciones aceptable o bueno.

- Lima – Tingo María (aproximadamente 10 horas)
- Tingo María – Pucallpa (aproximadamente 6 horas)

3.1.3. Ubicación de la zona alta

El distrito de Monzón, parte de la provincia de Huamalíes, se encuentra en el departamento de Huánuco, ubicado en la zona centro-oriental del Perú. Está situado a 160 km de la ciudad de Huánuco, a una altitud de 950 metros sobre el nivel del mar.

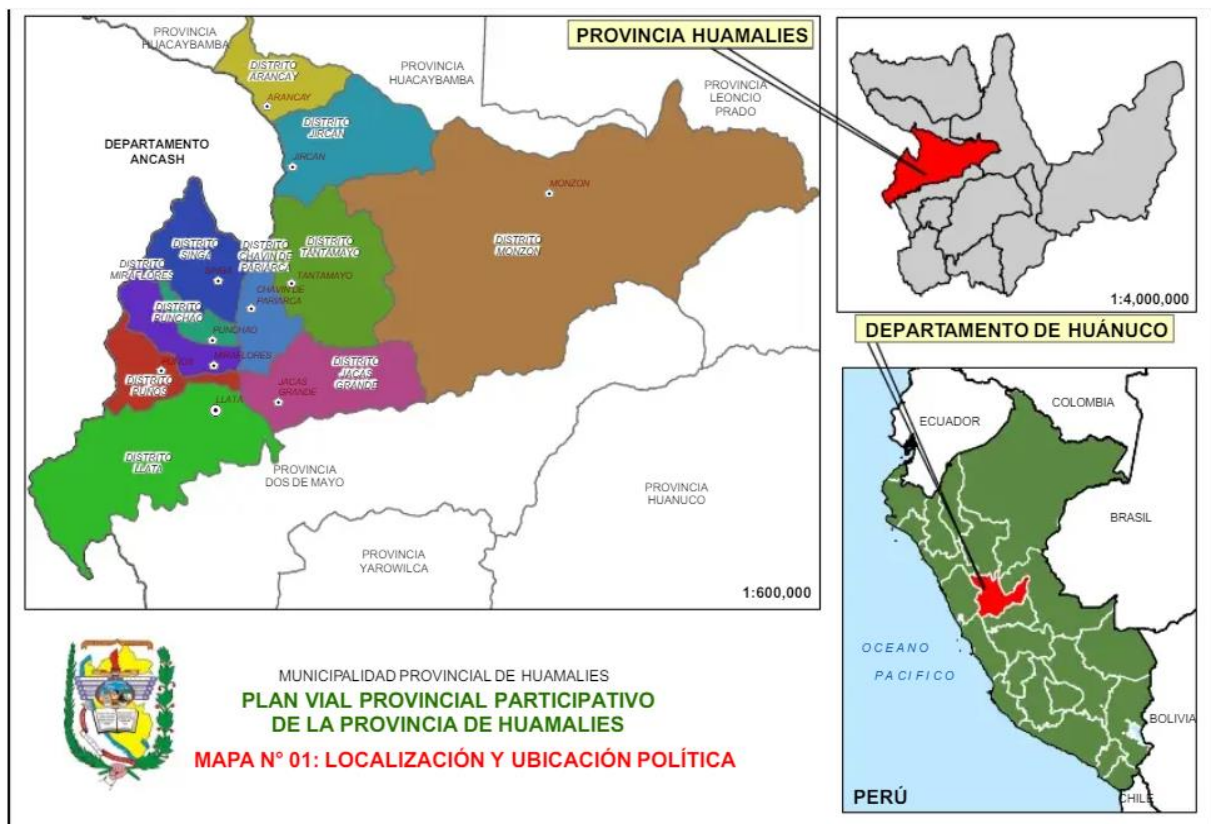


Figura 5: Ubicación del área de estudio.

3.1.4. Características generales del área de estudio

Comprende la cuenca del río homónimo, es un valle de ceja selva, lo cual lo acredita como el único distrito selvático de la provincia de Huamalés, con una temperatura de 26 C°, siendo cálido con altas tazas de precipitación durante el año

3.1.5. Vías de acceso

Vía aérea: No cuenta con ningún aeropuerto. Terrestre: Se puede llegar de diferentes carreteras, ya que las vías terrestres del centro oriente peruano se encuentra en un estado aceptable o bueno, A 160km de la ciudad de Huánuco

3.1.6. Ubicación de zonas de extracción de las muestras

Las zonas designadas para la extracción de las muestras de pulpa de café fueron 3 zonas con distintas elevaciones sobre el nivel de mar. **Zona alta 1**; pertenece al centro poblado de catalán, a 1.5 horas de Monzón- **Zona media 2**; pertenece al centro poblado de Río Tigre ubicado a 40 minutos de bella alta y 1 hora de la ciudad de tingo maría- **Zona baja 3**; en el centro poblado Libertad, ubicado a 3 horas de Supte San Jorge.

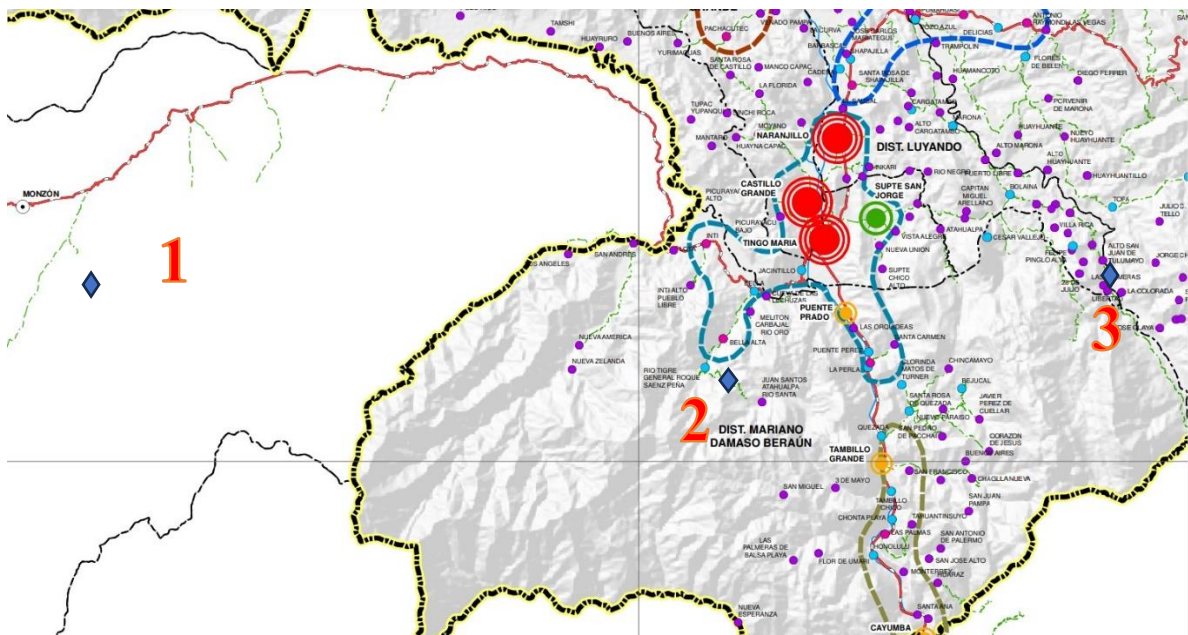


Figura 6: Ubicación de áreas de recolección de pulpa de café.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material experimental

Se uso pulpa de café frescas provenientes de frutos sanos y maduros de cada fundo sin alterar la humedad que estas contienen, los fondos están ubicados en 3 distintas

altitudes (baja, media y alta) en la provincia de Leoncio Prado y la provincia de Huamalés - distrito de Monzón, la zona baja se encuentra el centro poblado Libertad a 3 horas de la ciudad de Tingo María, la zona media en el centro poblado Rio Tigre, a media hora de la cueva de las lechuzas y la zona alta a 4 horas de Tingo María, en el distrito de Monzón y caserío de Milagros, ubicado a 1 hora de Monzón. El proceso de compostaje se realizó en la ciudad de Tingo María, para que los granos de café en cada pila estén sometido al mismo clima y sea imparcial el proceso de compost.

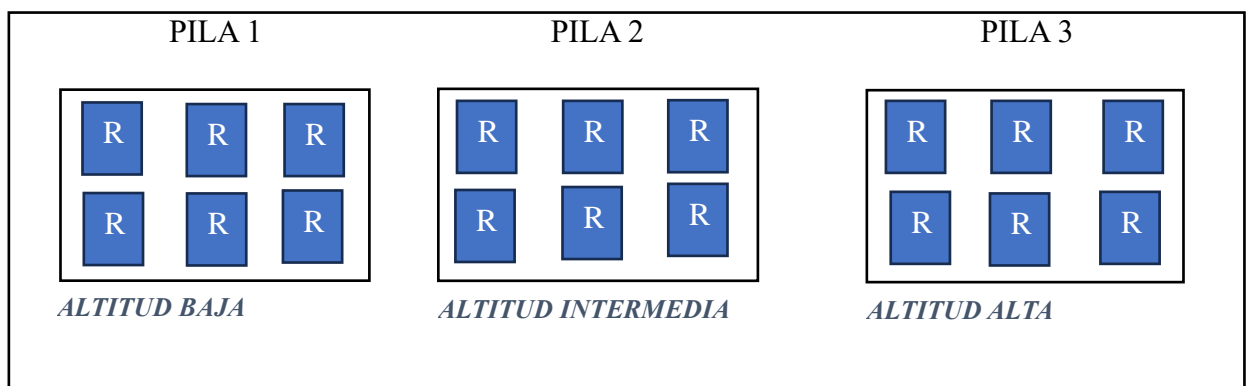
3.2.2. Pilas de compostaje y camas de compost

Las camas de compost que fueron evaluadas de cada uno, en la tabla se muestra las dimensiones individuales de las camas, que contienen un volumen de 2 m³ cada uno, de cada cama se sacara 6 repeticiones de muestras para su posterior evaluación en el laboratorio, con un periodo de volteo de aproximado de 15 días, pero también teniendo en cuenta que no siempre serán los días exactos, si no dependiendo de la evolución del compost.

Tabla 2. Características de pilas y camas

Pila/Cama	Largo (m)	ancho (m)	altura (m)	volumen (m ³)
PC(a)1	2	1	1,00	2,00
PC(m)2	2	1	1,00	2,00
PC(b)3	2	1	1,00	2,00

Figura 7: Diseño de cada una las pilas y sus repeticiones por pila



Fuente: Mismo autor

Tabla 3: Diseño del campo experimental.

Nº de tratamientos Pilas a compostar	Altitudes m.s.n.m
T1 pulpa de café - altitud baja	850
T2 pulpa de café - altitud media	1100
T3 pulpa de café - altitud alta.	1500

Fuente: Mismo autor.

3.2.3. Tiempo de duración

El estudio tuvo una de duración de 4 meses, iniciando del mes de febrero hasta fines mayo de 2025.

3.2.4. Materiales

Lampas, costales, wincha, bolsas, ladrillo, plastico, baldes, ropa de trabajo. clavos, Otros.

3.2.5. Equipos

Laptop, GPS, Cámaras fotográficas, Termómetro, Peachimetro.

3.3. Criterio y análisis de estudio

3.3.1. Tipo y nivel de investigación

Es de tipo básica, que se tomó discernimientos fundados en la ciencia ambientales para la valoración de la calidad del compost a base de pulpa de café. El estudio correspondió a un nivel de investigación descriptiva comparativa, esto debido a que se evaluaron las concentraciones de macro y micronutrientes y condiciones de los abonos orgánicos que fueron producidos en la ciudad de Tingo María, pero las pulpa extraídos de tres zonas distintas y con elevaciones sobre el nivel de mar diferentes, las investigaciones básicas tienen como finalidad expandir los entendimientos teóricos de una disposición explícita y es el primer paso para adquirir los entendimientos científicos en tecnológicos (Hernández, 2014)

3.3.2. Diseño de investigación

La investigación realizada es de tipo experimental mixto, ya que combina descripciones y comparaciones, utilizando un diseño completamente aleatorizado (DCA). Los tratamientos consistieron en tres pilas de compost (T1, T2 y T3), las cuales se procesaron en la ciudad de Tingo María. Se analizaron variables físicas como pH, temperatura y humedad, así como variables químicas incluyendo pH, calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), molibdeno (Mo), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio

(K) en el compost. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), seguido de pruebas post-hoc de Tukey, con un nivel de confianza del 95 % para la comparación de medias de las variables entre las enmiendas evaluadas. La Tabla 8, describe el modelo aditivo lineal que se aplicó para el análisis de los datos y la interpretación de los resultados.

Tabla 4. Modelo del análisis de varianza

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor de F
Tratamientos	$\sum_{i=1}^a \left(\frac{y_i^2}{n_i} - \frac{y^2}{N} \right)$	- 1	$\frac{SC_{trat}}{GL_{trat}}$	$\frac{CM_{trat}}{CM_{ee}}$
Error experimental	$SC_{total} - SC_{trat}$	- a	$\frac{SC_{ee}}{GL_{ee}}$	
Total	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 - \frac{(y)^2}{N}$	- 1		

Fuente: Gujarati & Porter (2010)

El modelo que se aplicará:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Observación

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento

β_j = Efecto del tipo de compost y vermicompost

ε_{ij} = Error experimental

3.4. Metodología

3.4.1. Manejo aplicado en la toma de parámetros en el proceso del compost (pH, humedad y temperatura)

Para ejecutar con este propósito la investigación realizó las operaciones siguientes:

- a. La humedad se determinó con un medidor de Humedad marca Ohaus MB-35, los niveles de humedad óptimos que se mantendrán serán alrededor de 45 %, si esta humedad disminuye menos del 45 % la actividad microbiana disminuirá sin poder completar las demás fases de degradación, para esto se tendrá que regular

proporcionando agua al material. La toma de lectura se realizó cada 7 días en un periodo de 4 meses.

- b.* Las lecturas de la temperatura se realizarán con un geotermómetro digital soil Meter a una profundidad de 30 cm en todas las pilas compostadas, la posición en que se tomó la muestra fue en los dos lados de la pila, Cada lado a la vez se dividirá en tres puntos en la parte media de la pila, en total serán registrados 6 lectura de temperaturas para cada pila. El volteo de las pilas se realizará de acuerdo con la proporción de la elevación de la temperatura. Las tomas de lecturas se realizaron cada semana durante 4 meses.
- c.* El pH es un factor clave en la actividad microbiana durante el compostaje, ya que cada microorganismo requiere un rango específico para su desarrollo, siendo óptimo entre 5,8 y 7,2. En esta investigación, se monitoreó semanalmente el pH de cada pila durante cuatro meses, obteniendo 16 lecturas por pila en distintos puntos. Las mediciones se realizaron con un pH-metro Three Way Meter, mediante el método electrométrico y una varilla de 0,30 m para lecturas en profundidad.

3.4.2. Determinación de indicadores físicos y químicos de calidad del compost

Para efectuar con este propósito la investigación desarrollo lo siguiente:

- a.* Se desarrollo la recopilación en las tres pilas compostadas, se retiró 06 muestras aleatoriamente en cada pila de compost y se colocó en bolsas herméticas con su respectiva rotulación y se consignaron al laboratorio de suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para los análisis pertinentes.
- b.* En el compost se evaluaron diversos indicadores fisicoquímicos mediante diferentes métodos: la humedad se determinó por gravimetría, las cenizas por calcinación, y el pH mediante método electrométrico. El contenido de materia orgánica en base seca se midió usando la digestión ácida según Walkley y Black. El fósforo (P) se cuantificó mediante el método del meta vanadato con lectura en espectrofotometría UV-Visible, mientras que el nitrógeno (N₂) se analizó utilizando el método Kjeldahl. Los elementos calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) se determinaron a través de extracción con acetato de amonio y posterior análisis por espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Asimismo, los metales cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) se cuantificaron tras una extracción con

una mezcla de ácido nítrico y perclórico (4:1), seguida de lectura en EAA, siguiendo el método EPA 200.7-1994, según los protocolos descritos por Bazán (2017).

3.4.3. Criterios de la normativa chilena NCh 2880

Esta norma posee como finalidad la organización y requisitos para la calidad de los compost provenientes de materia inorgánicas, orgánicas y otros residuos generados por la actividad humana. Los criterios establecidos por la norma chilena 2880, estable que debe de determinarse los parámetros físicos, químico, orgánicos y biológicos, además de análisis de patógenos, hace mención que el compostaje para el uso agrícola requiere determinarse el análisis del selenio (Angélica Sadzawka, 2016), viendo las limitaciones de que no hay un laboratorio que nos ofrece el análisis de todos estos parámetros, pero si el análisis físico y químicos, serán los parámetros de la investigación.

Tabla 5: Calidad del compost según la NOCh 2880

Indicador	NOCh
Humedad	Clase A
Ceniza	<25
pH	5-7.5
MO	> 45 %
N	> 0.8 %
P2O5	< 5 %
Ca	> 1 %
Mg	> 1 %
K	> 1 %
Na	< 1 %
Cu	Max. 100
Fe	--
Zn	Max. 200
Mn	--

Fuente: Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco, revista UTE.

3.4.4. Métodos de ensayos utilizados

En la Tabla 6, se presentan detalladamente los diferentes indicadores que fueron evaluados en el estudio, junto con los métodos específicos empleados para su medición. Esta información se organiza de acuerdo con los distintos tratamientos aplicados, lo que permite comprender claramente qué parámetros fueron analizados en cada caso y qué técnica se utilizó

para obtener los datos correspondientes. De esta manera, se facilita la interpretación de los resultados y la comparación entre los tratamientos, asegurando la transparencia y rigurosidad del proceso experimental.

Tabla 6: Indicadores y método de determinación

Indicadores químicos	Método de su determinación
Ceniza	Mufla 660°C Ther Concept Alemania
pH	Solución pH-metro Sartotios Alemania
Nitrógeno	NTE INEN 0226: Fertilizantes
Fósforo disponible	Métavanadato Espectro UvVisible-Thermo Scientific USA
Potasio disponible	EAA Varían Alemania
Calcio disponible	EAA Varían Alemania
Magnesio disponible	EAA Varían Alemania
Sodio disponible	EAA Varían Alemania
Cobre disponible	EAA Varían Alemania
Hierro disponible	EAA Varían Alemania
Zinc disponible	EAA Varían Alemania
Manganeso disponible	EAA Varían Alemania
Humedad	Estufa 105°C Memert Alemania

Fuente: Mismo autor

3.5. Análisis estadístico

Los datos se adaptaron estadísticamente para su procesamiento a un diseño completamente aleatorizado, teniendo como tratamientos T1(a), T2(m) y T3(b) (pilas de compostaje 1,2 y 3 con 6 repeticiones por pila), con tamaño muestral $n= 18$ (6 repeticiones por pila, haciendo un total de 18 muestras). Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente a la prueba post-hoc de Tukey, empleando un nivel de confianza del 95 % para comparar las medias de los indicadores fisicoquímicos entre el compost y el vermicompost evaluados. Para el procesamiento y análisis estadístico se utilizó el software IBM-SPSS versión 25.

3.6. Variable de estudio

La Tabla 6 indica las variables en estudio y como se llevan a la práctica de acuerdo con las dimensiones planteadas.

Tabla 7. Operacionalización de las variables

Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores
La altitud tiene efecto significativo en la calidad del compost evaluado a base de pulpa de café en la provincia de Leoncio Prado – Huánuco	Tratamiento de residuo (Independiente)	Compostaje	Pilas de compostaje
	Composición del compost (Dependiente)	Indicadores físicos.	% de humedad, pH y temperatura
		Indicadores químicos.	Niveles de pH, % de MO, N, P, K, Ca, Mg y CIC en compost
		Metales	% de Cu, Zn, Mn y Fe en compost
Calidad del compost (Dependiente)	Calidad en compost	Clase: A, B y C Tipo: I, II y III	

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Manipulación en el proceso de compostaje

La **tabla 8**, nos ejemplifica las características de las pilas y camas que fueron necesarios para el compostaje. Asimismo, especifica los registros del periodo de volteo y el periodo de compostaje.

Tabla 8. Criterios técnicos de procesamiento

Tratamiento	Procesamiento		Criterio de volteo			Tiempo de compostaje (días)
	Volumen de pila (m ³)	Tecnología aplicada	Ma	Nº volteos	Periodicidad (días)	
T(a)1	2	EM	Ma	8	15	120
2(m)2	2	EM	Ma	8	15	120
T(b)3	2	EM	Ma	8	15	120

PC1 y PC2 Y 3 pilas de compost

En la relación con las pilas de compost, se manejaron con microorganismos eficientes (EM), quiere decir, que se aplicó agentes aceleradores del periodo del compost, los volteos fueron realizados manualmente, con respecto a los días de volteos se realizó con la condicionante del ascenso de la temperatura, que en promedio eran cada 15 días. En general, para el procesamiento las pilas de compostaje contaron con un lapso de 15 días de volteo y un tiempo de desarrollo de 120 días para conseguir el producto, teniendo en cuenta el periodo y tiempo del resultado, se reafirmó con lo hallado por Garrido-Acosta. (2023) y Aguirre-Illatopa. (2024)

4.2. Caracterización de pulpa de café en base seca

La pulpa de café fue sometida a un análisis en base seca, evidenciando inicialmente un contenido de humedad del 85 %, lo que indica una alta proporción de agua en su composición fresca. Para su estabilización y posterior almacenamiento, el material fue sometido a un proceso de secado controlado, manteniéndose a una temperatura constante de 40 ± 5 °C durante un período de 48 horas, hasta reducir su humedad al 12 %, valor considerado adecuado para inhibir la proliferación microbiana y evitar procesos de degradación. Una vez alcanzado este nivel de humedad, la pulpa seca fue almacenada en recipientes herméticos a temperatura ambiente, con el fin de preservar sus propiedades fisicoquímicas y garantizar su integridad hasta el momento de su utilización en procesos posteriores.

Los resultados muestran que la pulpa proveniente de baja altitud presentó los mayores contenidos de macronutrientes, especialmente nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K), lo

que se asocia a condiciones climáticas más cálidas que favorecen una mayor actividad metabólica de la planta y una acumulación más rápida de nutrientes. En la altitud media, aunque los valores de N, P y K fueron menores, se observó una concentración significativamente más alta de micronutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn), posiblemente relacionada con suelos más ácidos y mayor disponibilidad de estos elementos. Por su parte, la pulpa procedente de alta altitud mostró una composición más equilibrada, con contenidos intermedios de macronutrientes y una menor concentración de algunos micronutrientes. En conjunto, estos resultados confirman que la altitud es un factor determinante en el valor nutricional de la pulpa de café, influyendo en la disponibilidad y proporción de nutrientes, aspecto clave para su aprovechamiento en procesos como el compostaje y la mejora de la fertilidad del suelo. Según Ríos de Souza et al. (2014), en base seca, la pulpa contiene concentraciones minerales significativamente mayores que las berries, destacando hasta 10 veces más P, K y Ca. Estos resultados coinciden con la **tabla 9**, con los reportados por Figueroa y Mendoza (2010), quienes indican contenidos de 1.3 g/kg de P, 31.0 g/kg de K, 4.6 g/kg de Ca y 1.4 g/kg de Mg. No obstante, parte de estos nutrientes pueden perderse tras el despulpado debido a la liberación de líquidos ricos en minerales, especialmente potasio. Dada su riqueza nutricional y capacidad para mineralizarse en el suelo, la pulpa de café puede emplearse eficazmente como abono orgánico (Vásquez et al., 2010).

Indicador	Tratamientos		
	T1: Baja	T2: Media	T3: Alta
Na (%)	0,253	0,206	0,244
N (%)	1,52	1,375	1,425
P ₂ O ₅ (%)	0,713	0,291	0,434
Ca (%)	0,708	0,142	0,689
Mg (%)	0,34	0,138	0,085
K (%)	1,638	1,09	1,389
Cu (ppm)	35	11	15
Fe (ppm)	244	1274	204
Zn (ppm)	11	43	7
Mn (ppm)	42	78	77

Tabla 9. Composición química de la pulpa de café

4.3. Evaluación de los parámetros del proceso de compostaje: pH, temperatura y humedad

En la **Figura 8, 9 y 10** se visualiza los resultados de la evaluación de los parámetros clave durante el proceso de compostaje, tales como el pH, la temperatura y humedad. El pH influye en la actividad microbiana, afectando la velocidad de degradación de la materia

orgánica. La temperatura es un indicador del grado de descomposición y del desarrollo de microorganismos termófilos esenciales para la eliminación de patógenos y semillas de malezas. Por último, el control adecuado de la humedad es crucial para mantener la actividad biológica y evitar condiciones anaeróbicas que puedan generar malos olores y retardar el proceso (Bernal, 2009)

a) pH

En la **Figura 8** se presenta el seguimiento de los cambios en el pH durante el proceso de compostaje a lo largo de un periodo de dieciséis semanas. En el tratamiento **T1**, el proceso de compostaje comenzó con un pH de 8.53 y terminó alcanzando un valor máximo de 7.69, lo que indica una ligera disminución en la alcalinidad a medida que avanzaba la descomposición. El T2 comenzó con un pH de 7.11, incrementándose ligeramente hasta un valor máximo de 7.5, mientras que, en el T3, el pH inició en 7.26 y terminó con un valor máximo de 7.71. Estas variaciones en los valores de pH mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos, lo que sugiere que el tipo de tratamiento influye en el comportamiento del pH durante el compostaje.

Los resultados obtenidos en este estudio se alinean con el rango óptimo de pH para el compostaje, que se encuentra entre **6.5 y 8.0** (Tchobanoglous, 1994). Este rango es considerado ideal para la actividad microbiana, lo que facilita una descomposición eficiente de la materia orgánica. Además, los resultados del presente trabajo coinciden con los reportados por (Duicela, 2002), quienes encontraron valores de pH cercanos a 8.2 en compostajes de pulpa de café utilizando aceleradores, lo que refleja una tendencia similar en términos de pH en procesos de compostaje de este material.

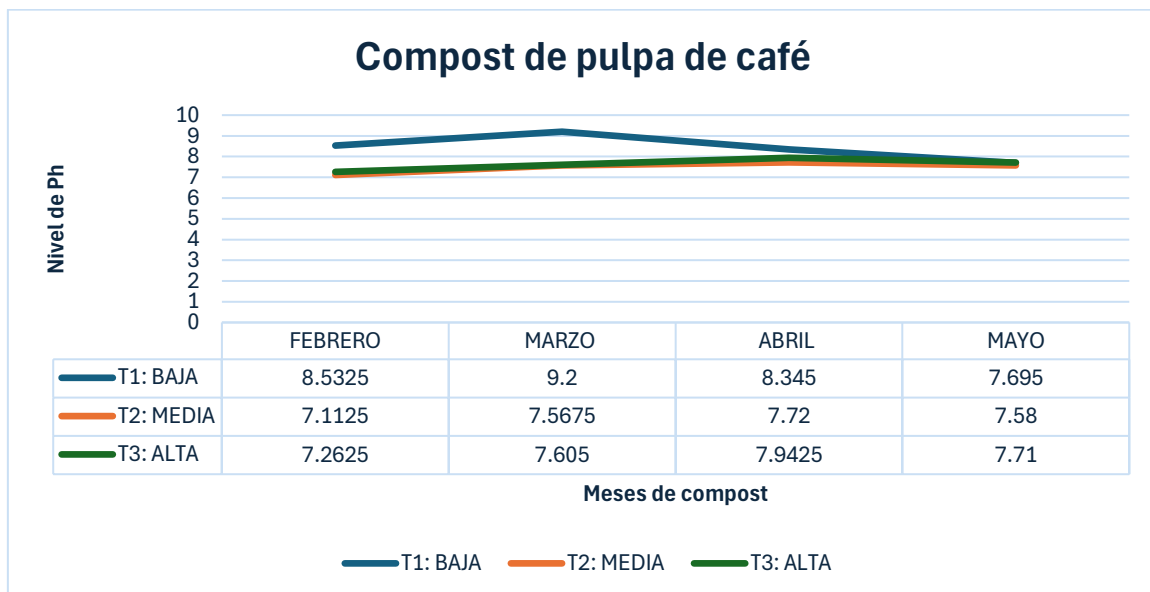


Figura 8. Conducta de pH de los tratamientos valorados durante el proceso de compostaje

b) Temperatura

La **Figura 9** representa el proceso de compostaje de dieciséis semanas, la temperatura inicial fue de 25 °C, alcanzando un máximo de 40 °C en la quinta semana para todos los tratamientos. A partir de la sexta semana, la temperatura descendió progresivamente hasta estabilizarse en 22 °C en la semana 16. Las temperaturas registradas fueron relativamente bajas, apenas alcanzando el umbral de la fase termofílica, es decir, 45 °C (Pino, 2005). Este comportamiento podría deberse a una baja aplicación de EM (INTEC, 1999). Además, las condiciones climáticas locales pudieron influir en estos resultados, ya que la temperatura media durante el periodo de estudio fue de 22 °C, lo que generó un gradiente térmico que favoreció la disipación del calor en las pilas. A esto se sumaron lluvias frecuentes, las cuales redujeron la radiación solar disponible durante el experimento.

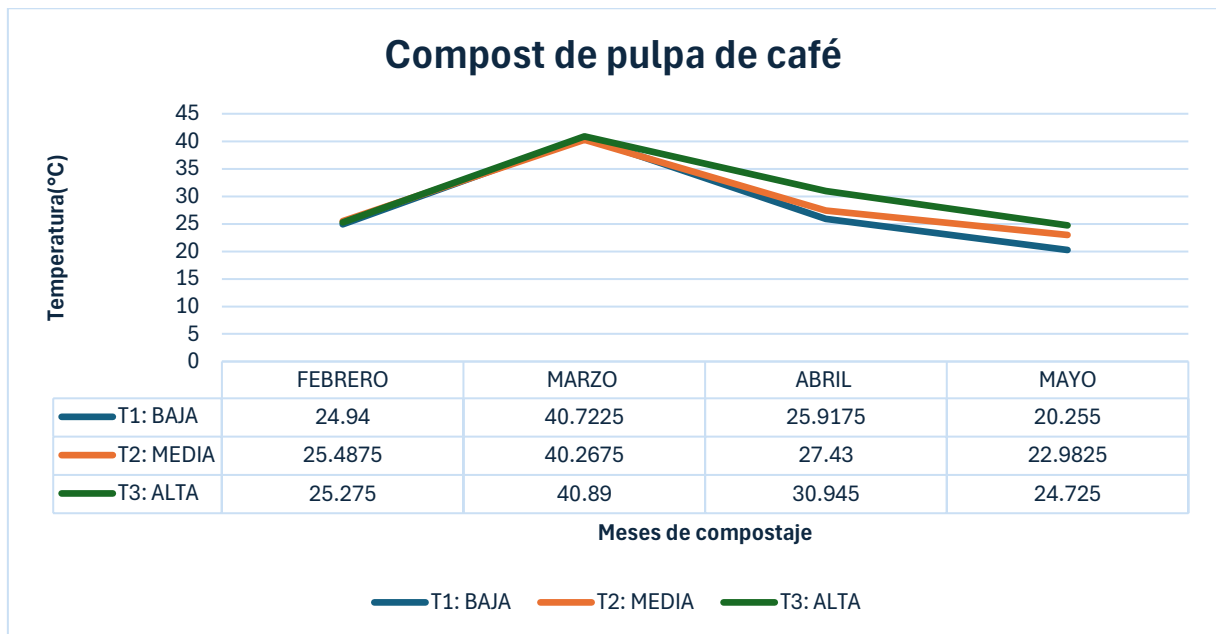


Figura 9. Comportamiento térmico de los tratamientos evaluados durante el compostaje

c) Humedad

El contenido de humedad varió entre los tratamientos debido al exceso de agua presente en la pulpa de café utilizada. La humedad representa un factor fundamental en el proceso de compostaje, ya que constituye el medio en el que los microorganismos viven, se desarrollan y obtienen sus nutrientes. Si la humedad es excesiva, se limita la disponibilidad de oxígeno, lo que puede ralentizar o incluso detener la descomposición aeróbica. Por el contrario, si el nivel de humedad es muy bajo, se dificulta la actividad microbiana, afectando negativamente el proceso de degradación. Por estas razones, es esencial mantener un nivel de humedad adecuado durante todo el compostaje (Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. P. 2013)

Según lo indicado por Tiquia, (2000), la humedad óptima para un compostaje eficiente se encuentra en un rango de 50% a 60%. En este estudio, los valores obtenidos al final del proceso se ubicaron dentro de ese rango óptimo, con un promedio del 50% en el último mes. Esto indica que el material compostado alcanzó una madurez adecuada y, por lo tanto, puede ser aplicado directamente al suelo agrícola sin necesidad de tratamientos adicionales.

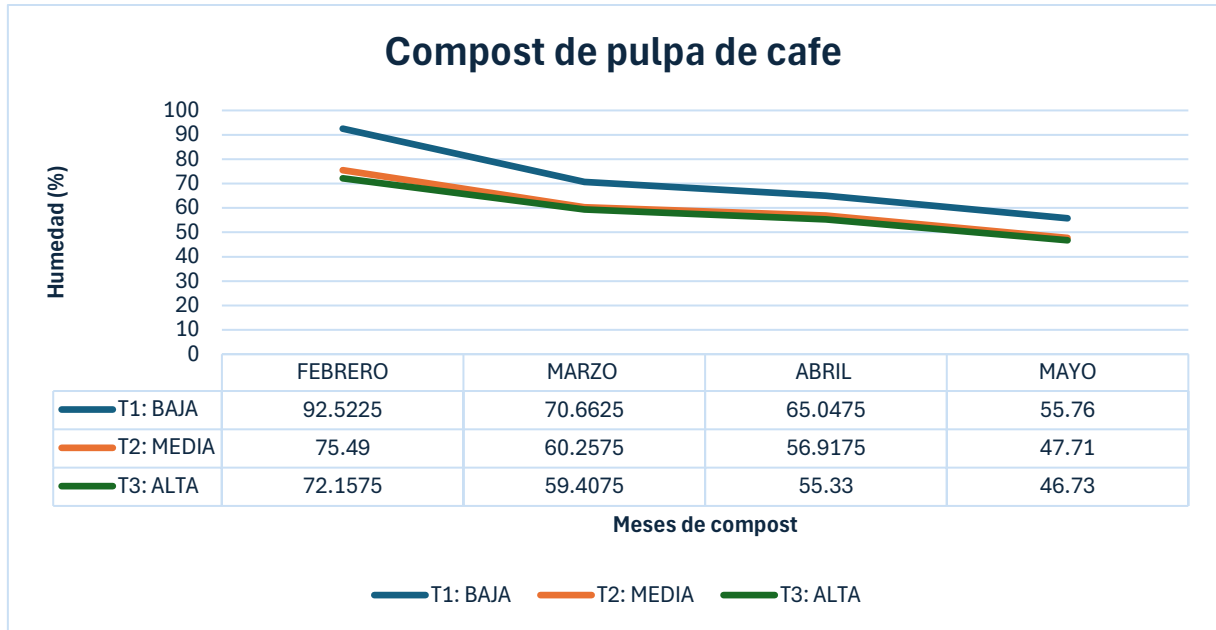
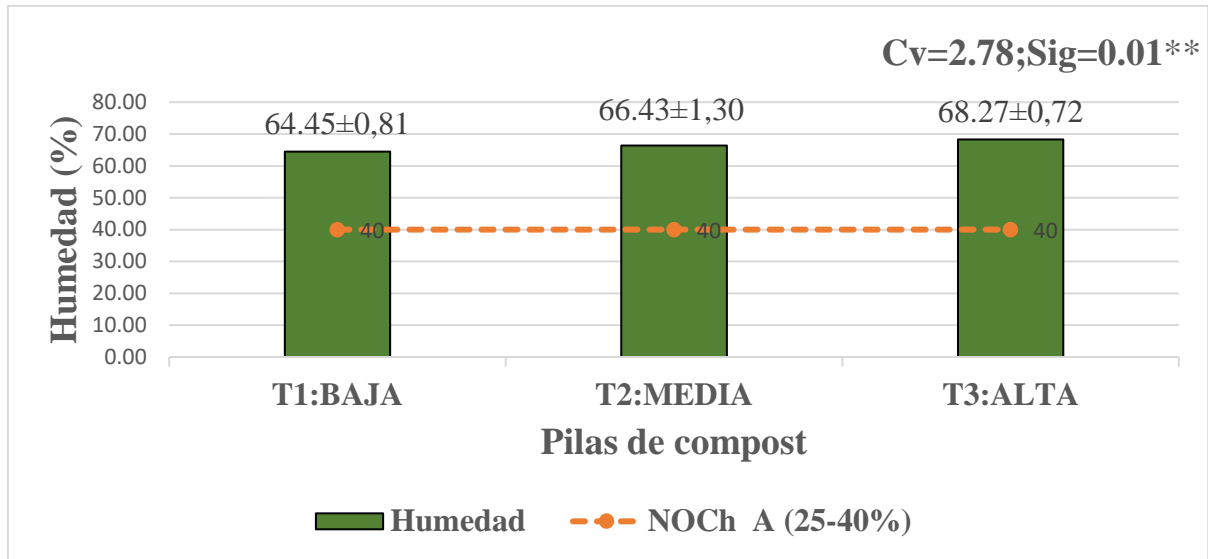


Figura 10. Conducta de humedad de los tratamientos valorados durante el proceso de compostaje

4.4. Indicadores fisicoquímicos en compost

4.4.1. Contenido de humedad

En la **Figura 11**, Se muestran los resultados obtenidos tras aplicar la prueba post-hoc de Tukey, que permitió agrupar los subconjuntos con medias similares, junto con el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$ para comparar las medias de las pilas de compost. Además, se realizó una comparación de los valores promedio de humedad considerando los límites establecidos por la norma chilena correspondiente a este parámetro.



PC compost de pila 1, 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, diferencias estadísticas ($p < 0,01$), Sig significancia, ** altamente significativo

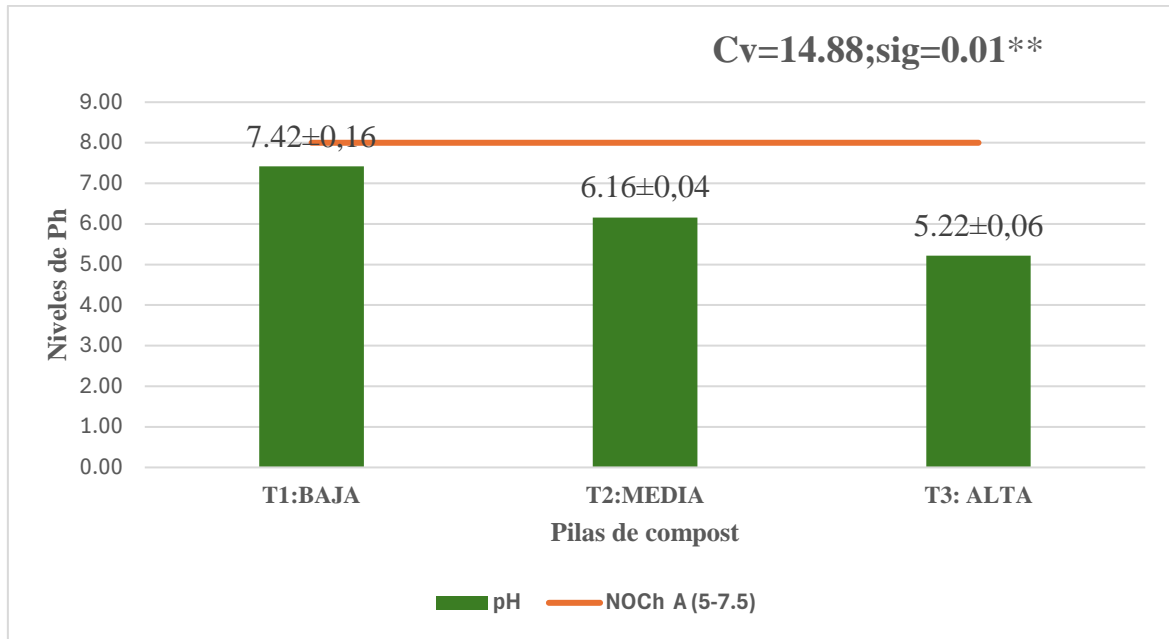
Figura 11. Humedad en compost

Se hallaron diferencias estadísticas en alto grado significativas ($0,00^{**}$) entre las tres pilas de compost, que se sometió a evaluaciones para la determinación del factor humedad y esta corresponde a compost de clase C. Aunque la norma nos da a conocer que la clase C es un producto que puede tener algunas limitaciones de uso, por su alto contenido de humedad no incapacita en totalidad al producto. Aunque el superávit de humedad conlleva nocivamente la disposición de nutrientes como N, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn (Bohórquez, 2015). La sugerencia recomendada para ajustar los parámetros obtenidos y está dentro de los rangos es aplicar la solarización adecuada, para disminuir los niveles de humedad y en consecuencia aumentar el nivel nutricional del compost (Bohórquez, 2015)

Si bien la humedad está fuera de los rangos de la norma, específicamente en el compost, están cerca a lo hallado por Bohórquez, (2015) encontraron medias entre 36,4 a 44,30%, considerando el compost a base de pulpa de café que tiene alta capacidad de retención de humedad, más el riego constante, en consiguiente son valores peculiares y estas van a requerir tratamiento de solarización adecuada para ajustar la humedad a medias menores de 20 % de humedad, así, potenciar su uso.

4.4.2. Potencial de hidrogeno (PH)

En la **Figura 12** se visualiza los valores medios de pH halladas en las pilas de compost, también se exponen los rangos de calidad del indicador con su norma técnica correspondiente.



PC compost de pila 1, 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, Cv coeficiente de variación Sig. significancia, ns no significativo

Figura 12. Valores de pH en compost

Los resultados de pH (5,22 a 7,42) están dentro del rango de la clase A según la norma establecida para el estudio. Asimismo, presenta coeficiente de variación inferior al 20% y esto nos da comprender la homogeneidad entre los tratamientos y la media de la muestra. La estimación medio de pH pertenecen al nivel de neutro, quiere decir que los datos son los adecuados y óptimos según la norma chilena y esta no requiere ser sometidos a procesos de ajustes para su aplicación, si ocurría que los datos obtenidos eran alcalinos, en este sentido, se debía a que se añadió otro sustrato como el estiércol fresco, que su pH es aproximadamente 7.24 y procesado 7,57 a 7,69 (Guzmán, 2021), según Román, (2013) los niveles de pH antes del procesos del compost son inferiores y en el transcurso del proceso del compost esta tiende a incrementarse.

Se observo el aumento de pH en el T1 con mayor manifiesto esto en consecuencia que se compost con mayor humedad, debido a la lejanía de la extracción de la pulpa, que se tuvo que secar 2 horas en sol, a diferencia de T2 Y T3 se sometieron a sol antes de su disposición final en las pilas, se contempló otras investigaciones con otros residuos como los domiciliarios urbanos donde el pH incremento de 4,87 a 7,70 de pH (Garrido-Acosta , 2023) y de 4.7 a 8 (Aguirre-Illatopa, 2024); posiblemente debido a la humedad del estiércol con un pH alto (7,24), a diferencia de los residuos orgánicos domiciliarios que inician con niveles ácidos

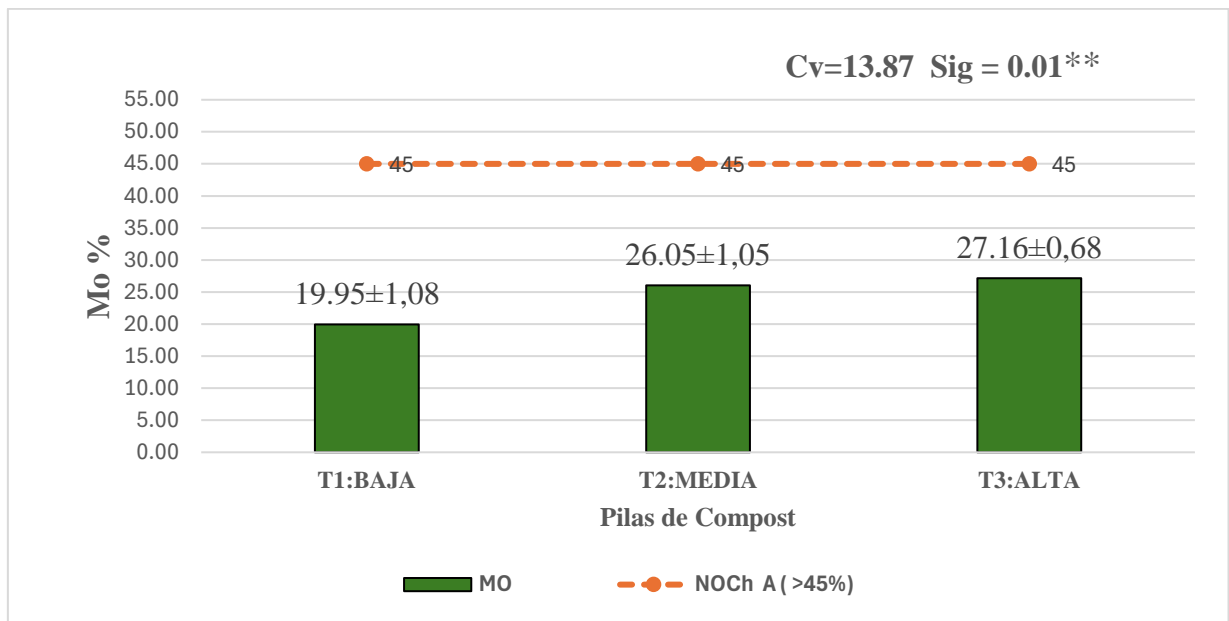
probablemente al tener el estiércol fresco un pH relativamente alto (7,24) en comparación de los residuos orgánicos domiciliarios que al inicio liberan una serie de ácidos

(<5) y posteriormente a lo largo del proceso del compost esta se estabiliza, esto debido de una reducción de acumulación de iones de hidrógeno y elevadas concentraciones de Calcio, Magnesio y Sodio (Carrión et al., 2008; Aguirre-Illatopa, 2024).

4.4.3. Materia orgánica (MO)

En la **Figura 13** se visualiza los valores medios, también análisis post-hoc de Tukey para detectar subgrupos parecidos y diferencias estadísticas entre los tratamientos en las pilas de compost, también se exponen los rangos de calidad del indicador con la norma técnica correspondiente. Las estimaciones de MO nos dieron resultados altamente significativos que varían entre 19,95 a 27,16 %, de los tres tratamientos el T1 nos dió valores inferiores a diferencia de T2 y T3, aunque no todos están en el rango de calidad media, solo T1 está por debajo de la clase B, mientras que T2 y T3 están dentro del rango de clase B, con un Cv superior al 13 % nos expresa heterogeneidad entre los resultados de los tratamientos y la media de muestra.

El compost valorado tendría algunas limitaciones en su uso, si tenemos en cuenta que la MO mejora sustancialmente las características fisicoquímicas del suelo, esto por su aporte de nutrientes y carbono orgánico, este indispensable para la biodiversidad del ecosistema agrícola (Román et al., 2013). Aguirre-Illatopa et al. (2024) entre 48,79 a 55,60 % y en compost de residuos agrícolas Hernández et al. (2013) aplica medias entre 18,79 a 30,69, y en residuos pecuarios Florida & Reategui, (2019) reporta medias entre 39,60 a 51,14.



T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena cv coeficiente de variación, Sig. significancia, ** altamente significativo

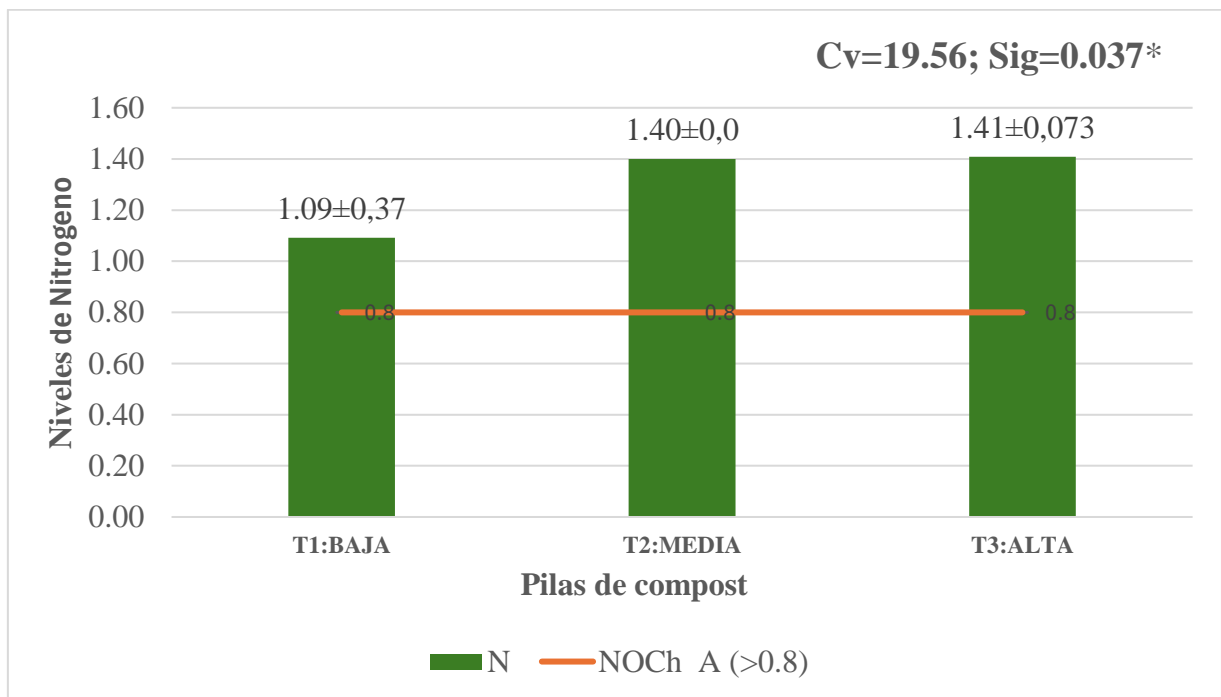
Figura 13. Niveles de MO en compost

Román, (2013), nos da a conocer que un compost adecuado debe de contener más de 20% de MO, en el cual solo T2 y T3 alcanzan estos valores requeridos,

probablemente estos valores bajos esté relacionado con los altos niveles de humedad en los 3 tratamientos evaluados, si hacemos la correlación de la humedad con MO (Figura 11 y 13) se contempla la relación contrariamente equitativa, quiere decir a mayor humedad el contenido de MO es menor, por lo tanto, es indispensable aplicar solarización adecuada como evoca Bohórquez, (2015).

4.4.4. Nitrógeno (N)

En la **Figura 14** se visualiza los resultados medios de N en compost, el análisis post-hoc de Tukey, y la heterogeneidad de los tratamientos. También tomando en cuenta los valores de la norma técnica. Los resultados de N manifiestan diferencias significativas y oscilan rangos de 1,09 a 1,49 %, con un coeficiente de variación menor a 20 %, esto evidencia las semejanzas de los datos de los tratamientos. Los resultados más bajo se evidencio en el T1, aunque si se le compara con el T2 y T3, los tres tratamientos consiguen estar dentro de la clase A para la norma técnica chilena, evidencia que el compost no requiere tratamiento para su aplicación y contiene buen potencial fertilizante.



T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, * significativo

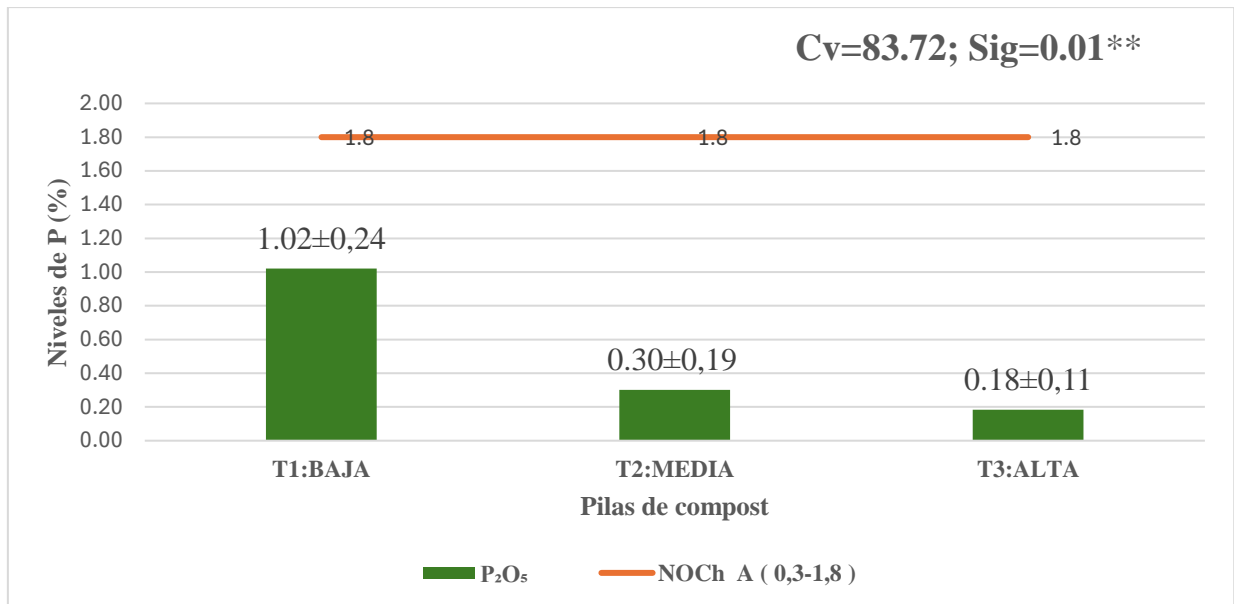
Figura 14. Niveles de N en compost

el nitrógeno fundamental por su para la evolución del desarrollo y la captación de nutrientes (Román, 2013), en muchos casos usado como indicador que determina el su potencial usado como enmienda (Ríos-Velásquez, 2024), en consecuencia, los resultados obtenidos superan los requerimientos normativos y son comunes si se le comprar con compost de otro tipo de material orgánico como estiércol de caballo como el de Téllez, (2019) los cuales procesaron por 90 días y hallaron resultados de 1,30 % de N, al contrario de los valores menores

a lo reporto en compost de residuos sólidos urbanos de Bailón & Florida (2020) reporta media de 1.43 %, Ríos-Velásquez et al. (2024) entre 1,52 a 2,69 %, Aguirre-Illatopa. (2024) entre 2,11 a 2,38 % de N. También son similares a compost de residuos de palma (1,84 %), plátano (1,21 %), cascara de cacao (0,92 %) y pulpa de café (1,92 %) según los reportes de Florida, (2021).

4.4.5. Niveles de fósforo

En la **Figura 15** se visualiza los resultados medios de fósforo en compost, el análisis post-hoc de Tukey, y la heterogeneidad de los tratamientos. También tomando en cuenta los valores de la norma técnica. Los resultados de fósforo nos indicó que la diferencia es altamente significativa que su variación oscila entre 1,02 a 0,18 %, con el resultado en cv más alto que los demás indicadores, nos deja en evidencia que los resultados presentan heterogeneidad respecto a la media general de los tres tratamientos.



T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 15. Niveles de P en compost

Los resultados que se obtuvieron fueron clasificados en la categoría de buena calidad según la norma chilena, excepto el tratamiento 3, que nos dio valor de 0,18% que se puede clasificar como de clase B y esta se encuentra por debajo del límite de la norma que es de 0.30%, por ende, dado la implicancia del T3 no fue inconvenientes para concluir que los tratamientos valorados no presentan limitaciones y estas pueden aplicarse.

El fósforo juega un papel esencial en los procesos de transferencia de energía, siendo fundamental para la fotosíntesis (Román et al., 2013). En este contexto, los niveles de fósforo obtenidos en el estudio cumplen con la norma aplicada y son comparables a los reportados por Florida et al. (2021) en composts elaborados con diferentes materiales, tales como estiércol de vacuno (0,35 %), plátano (0,44 %) y cáscara de cacao (0,30 %). Sin embargo,

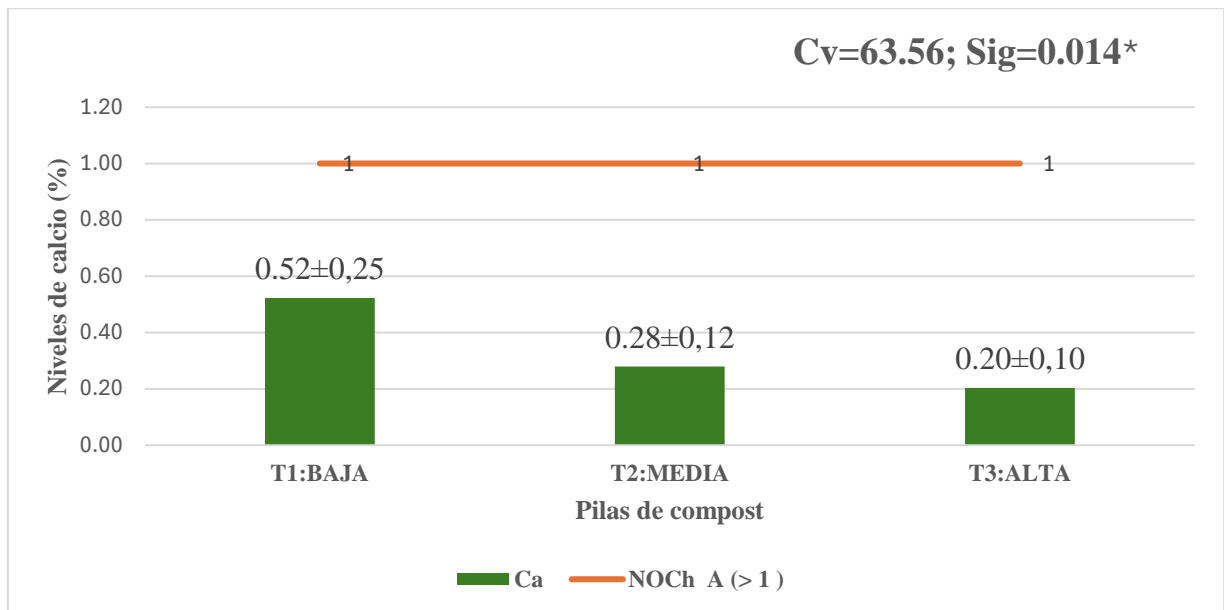
se observaron concentraciones más elevadas en composts derivados de pulpa de café (1,58 %) y escobajo de palma (2,13 %). Asimismo, se destaca que los composts provenientes de residuos orgánicos urbanos presentan mayores contenidos de fósforo, con valores reportados por Aguirre-Illatopa et al. (2024) entre 1,37 y 1,72 %, por Ríos-Velásquez, (2024) entre 0,89 y 1,51 %, y por Garrido-Acosta, (2023) entre 0,94 y 1,33 % de fósforo

4.4.6. Niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K)

En la **Figura 16, 17 y 18** se visualiza los resultados medios de Ca, Mg y K en compost, el análisis post-hoc de Tukey, y poder distinguir los subgrupos y la heterogeneidad de los tratamientos. También tomando en cuenta los valores de la norma técnica.

a) Calcio

El calcio **Figura 16**, las cifras de los resultados son altamente significativas y oscilan entre 0,20 a 0,52 %, con un cv que borda más del 60 % y esto manifiesta homogeneidad con los resultados de los datos y a media general, contrastando con la norma chilena los resultados se pueden clasificar como clase B los tratamiento T1 y T2 con cifras de 0,28 a 0,52 %, a diferencia del tratamiento T3 que se puede clasificar como clase C, ya que el resultado de 0,20 % se aleja aún más de la norma superan el límite (> 1 %).



T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, * significativo

Figura 16. Niveles de Ca en compost

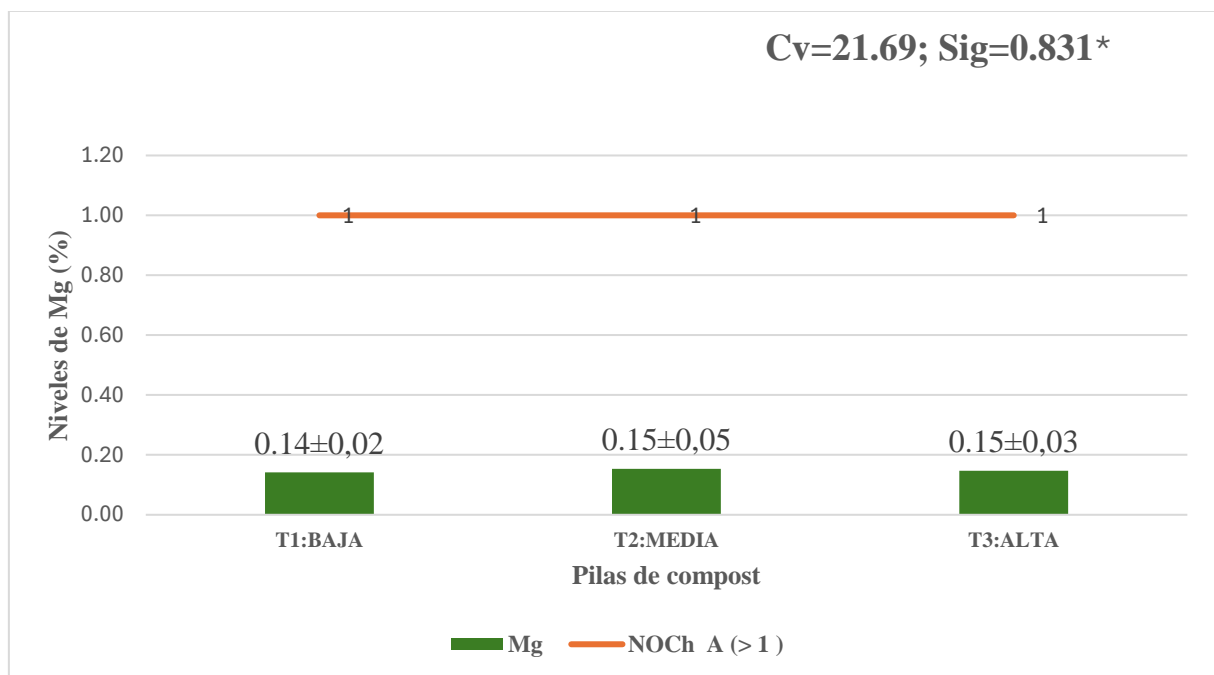
El Ca es un compuesto importante para el desarrollo estructural de las células vegetales y está asociada a una calidad de los frutos y también al desarrollo radicular (Román, 2013). Añadir Ca ayuda a regular los niveles de PH, en consecuencia, esto beneficia la nutrición de las planas (Aguirre-Illatopa, 2024), El calcio (Ca) también controla o reduce la

disponibilidad de elementos tóxicos como el aluminio (Al) en suelos tropicales ácidos (Rahman, M. A., Lee, S. H., Ji, H. C., Kabir, A. H., Jones, C. S., & Lee, K. W., 2018)

Los resultados obtenidos son relativamente bajos, tomando en cuenta la norma técnica, si se compara con los residuos urbanos, Vargas, (2017) encontró resultados de Ca en promedio 0,272 %, Barbaro, (2019) 0,87 % de Ca, a pesar de ello, para los semejantes tipos de residuos coinciden con los descubrimientos de Garrido-Acosta et al. (2023) medias entre 0,81 a 0,98 %, Ríos-Velásquez, (2023) entre 0,61 a 1,08 %, asimismo, Florida, (2021) halla media superiores en pulpa de café 3,15 % de Ca y escobajo de palma con medias de 2,90 % de Ca.

b) Magnesio

Los resultados de Mg nos dan indicadores significativos, con datos que oscilan 0,14 a 0,15 %, con un cv que borda más del 20 % y esto expresa homogeneidad entre los tratamientos, la media general de los datos de Mg no expresa diferencias notorias, los valores indicados se puede clasificar como de clase C, tomando en cuenta la norma técnica (> 1 %), estos resultados están muy debajo de los parámetros de norma técnica vigente.



T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, * significativo

Figura 17. Niveles de Mg en compost

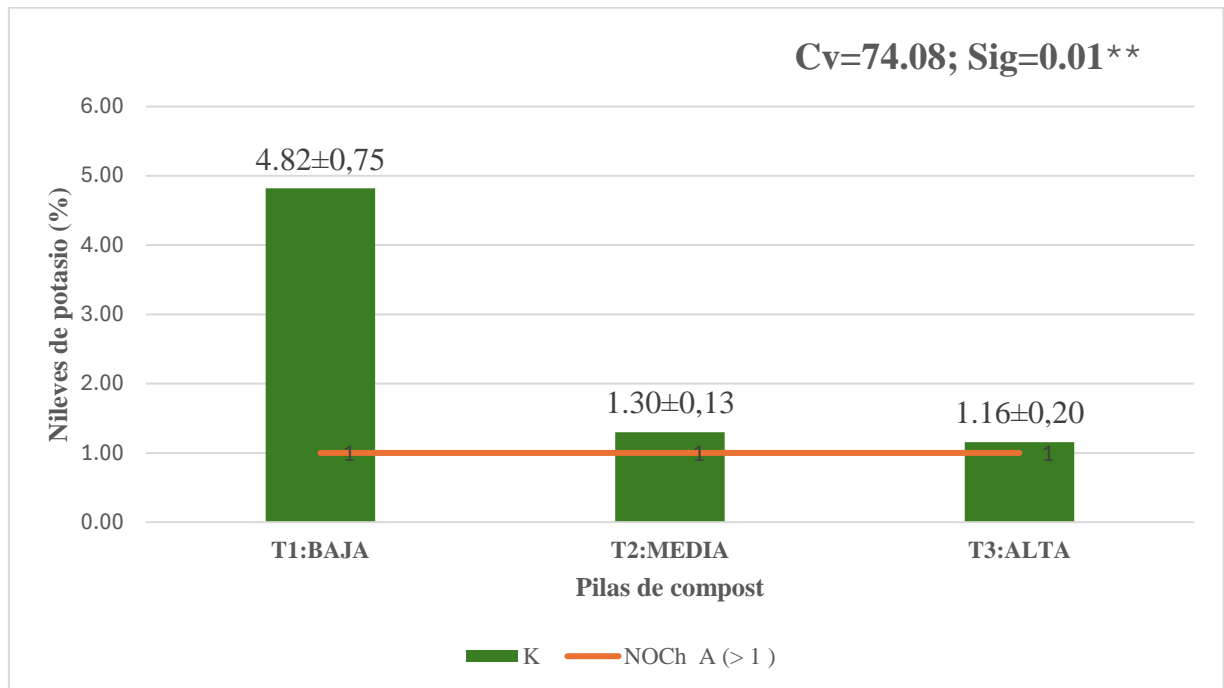
Los niveles de Mg, fundamental para la clorofila y todo el proceso de la fotosíntesis, activación de enzimas para la síntesis de los ácidos nucleicos y proteínas de plantas (Reyes et al. 2017), por lo tanto, recae la importancia y las exigencias de la normal técnica de alcanzar superiores al 1 %. Los valores obtenidos de los tratamientos ninguno supera el 1 %, los bajos niveles de Mg se puede explicar si lo relacionamos a los altos niveles de humedad **Figura 9**, contrastando con otras investigaciones donde los residuos tienen alto porcentaje de

humedad, como el estiércol de equino fresco con valores de 0,15 % de Mg (Jorge, 2018), con un producto con valores inicial de 0,17 a 0,31 %.

La calidad para la norma técnica chilena representa de mala calidad o clase C, pero si esto lo contrastamos con la norma técnica peruana nos representa de buena calidad, no son diferentes al compost de residuos urbano obtenidos por Vargas, (2017) con valores promedio de 0,11 %, Garrido-Acosta, (2023) medias entre 0,23 a 0,27 %, Ríos-Velásquez, (2023) medias entre 0,29 a 0,40 %, pero estos valores, son bajos a comparación a lo obtenido por Florida et al., 2021 para compost de pulpa de café (0,97 %) y escobajo de palma que alcanza medias de 0,89 % de Mg.

c) Potasio

Los resultados de K representan diferencias altamente significativas, con datos de 1,16 a 4,82 %, a pesar de eso el T1 y T2 nos expresa homogeneidad con datos de 1,16 a 1,30 %, los datos medio de T1 son muy diferenciales a comparación de T1 y T2, tomando valores de la normal técnica chilena que exige que sean superiores al 1 %, se puede categorizar el K como de clase A, valores más que adecuados para su uso en los cultivos.



T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 18. Niveles de K en compost

El K es un macronutriente esencial que tiene que colabora en síntesis de carbohidratos, proteínas, muy asociado a la resistencia del cultivo en situaciones de helas, sequias, salinidad y ataque de plagas (Román, 2013). Aunque los valores hallas pertenecen a la clase A, tenemos trabajos que reportan otros datos de K, entre esos trabajos tenemos a Castillo,

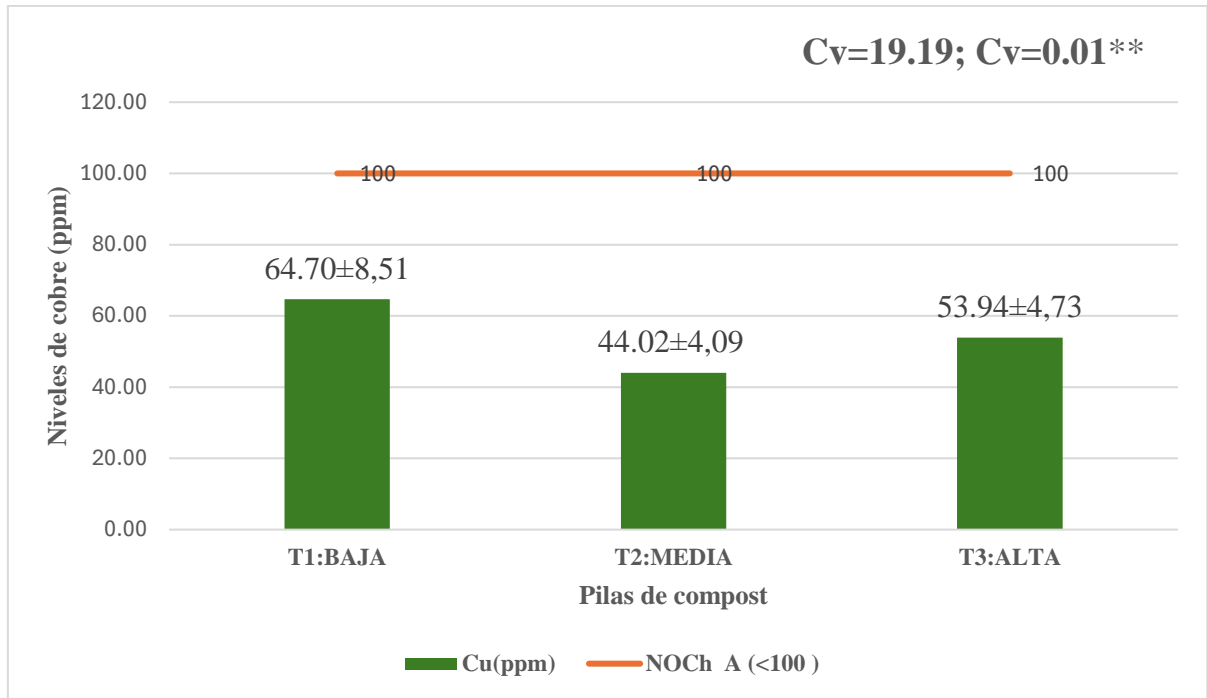
(2020) promedio de 0,51 %, Ríos-Velásquez, (2023) entre 0,49 a 1,16 %, Garrido-Acosta, (2023) entre 0,34 a 0,41 % de K.

Según Bressani, (1972), citado por Turria la pulpa de café presenta un contenido elevado de potasio en la fracción mineral tras quemarla (cenizas): alrededor de 1 765 mg de potasio por cada 100 g de cenizas, es decir, un 1,765 % de potasio en peso dentro de la fracción de cenizas, los altos datos de K en pulpa de café fresca puede, puede explicar los valores hallas en compost y esto contrasta con los valores obtenidos en base seca que se analizó con resultados (T1, 1,63 %; T2:1,09 %; T3, 1,38 %).

4.4.7. Niveles de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn)

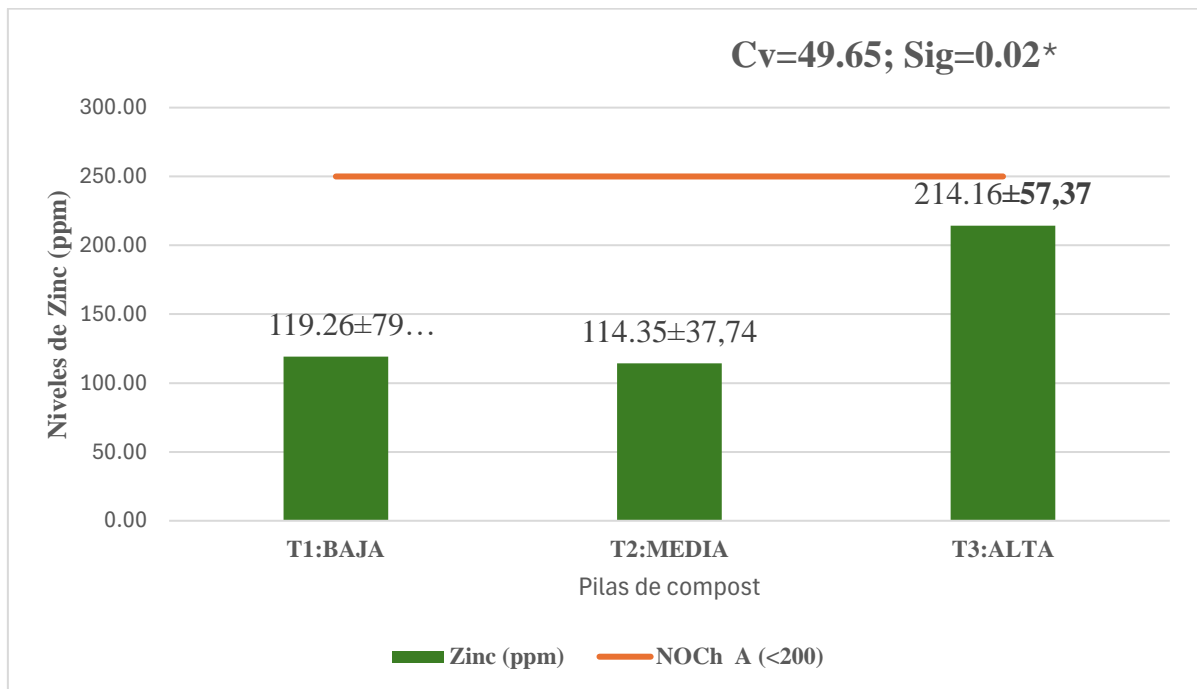
Se nuestros los estadísticos de del Cu, Zn, Fe, y Mn en la **Figura 19, 20,21 y 22**, conforme a los tratamientos correspondientes del compost, con un Cv por encima del 20 % en Zn, Fe, y Mn, esto manifiesta heterogeneidad de datos de los tratamientos, la media general y que los datos de los valores medios son muy diferentes, por otro lado, el contraste con los niveles de Zn es opuestos, con un Cv menor al 20 %, que nos expresa homogeneidad con los datos de los tratamientos, la media general. Además, análisis estadísticos con Tukey determina los subgrupos y las distinciones entre tratamientos. También, se expone el valor referencial de la norma técnica correspondiente para compost.

Se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) en los niveles de Cu, Fe y Mn. y diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para Zn. En cuanto a los contenidos de Zn y Cu estos se alinean con los parámetros establecidos para compost de clase A. Por su parte, los valores medios de Fe y Mn no tienen valores o parámetros en la norma técnica chilena, sin embargo, fueron inferiores a los reportados en estudios anteriores, lo que indica que son productos son adecuados como enmiendas o sustratos debido a sus bajos niveles de estos micronutrientes.



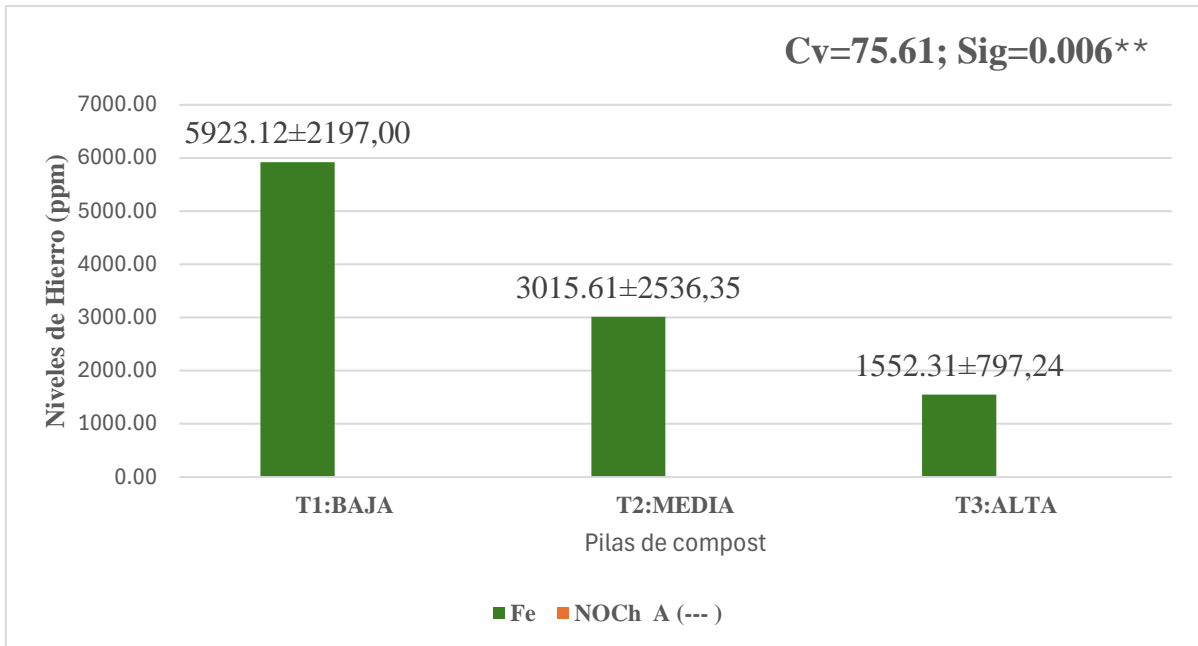
T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 19. Niveles de cobre en compost



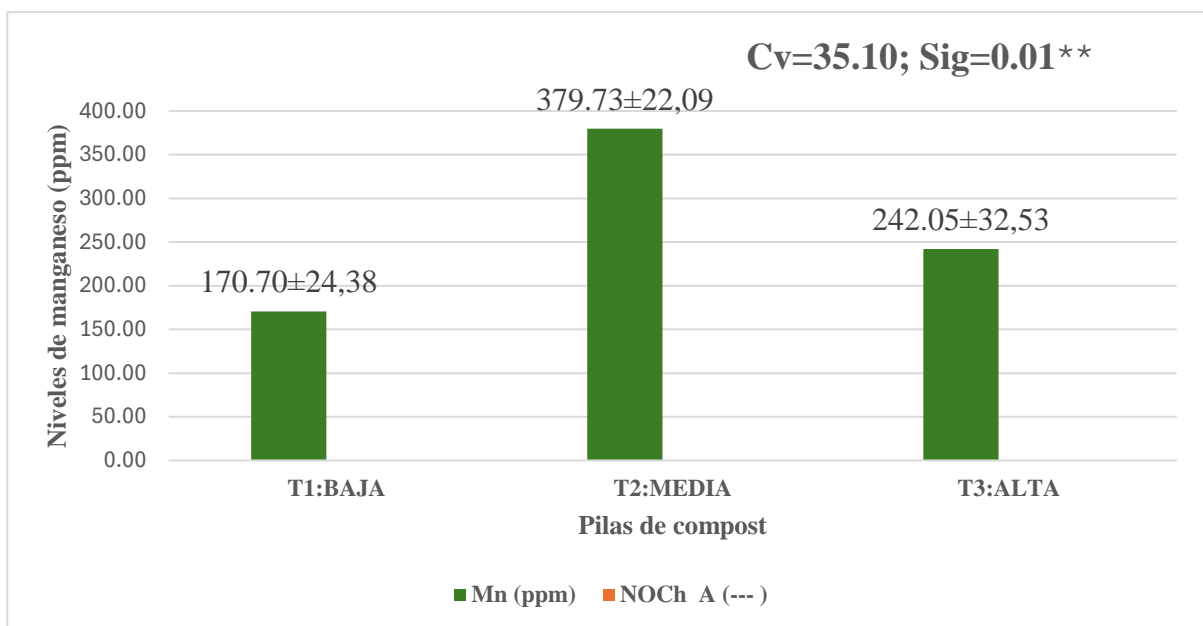
T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, * significativo

Figura 20. Niveles de zinc en compost



T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 21. Niveles de Hierro en compost

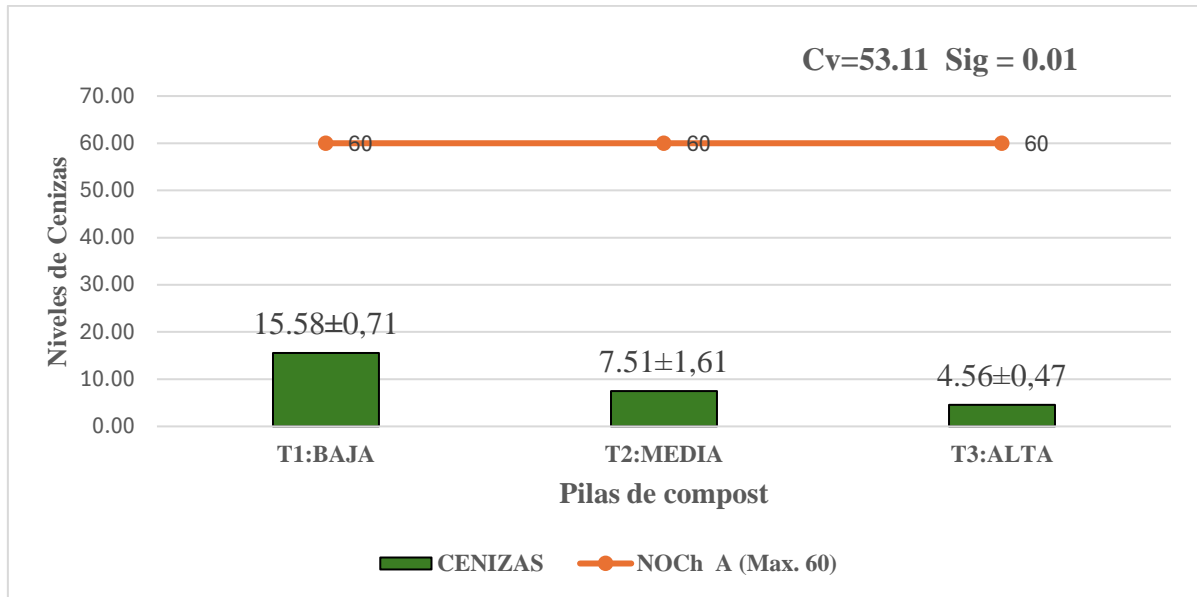


T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 22. Niveles de Manganeso en compost

4.4.8. Niveles de ceniza

En la **Figura 23** se presentan los valores promedio del contenido de cenizas en los diferentes tratamientos de compost, junto con los resultados del análisis post-hoc de Tukey. Esta información permite identificar los subgrupos estadísticamente similares y evaluar la heterogeneidad entre los tratamientos. Además, se consideran los valores de referencia establecidos por la norma técnica correspondiente, lo que facilita una interpretación más completa de los resultados.



T compost de pila 1 y 2 y 3, NOCh norma técnica chilena, cv coeficiente de variación, Sig. significancia, ** altamente significativo

Figura 23. Niveles de Ceniza en compost

El contenido de cenizas en el compost indica la proporción de minerales inorgánicos remanentes tras la incineración de la materia orgánica, lo cual está relacionado con la fertilidad del suelo, el pH y el aporte nutricional para los cultivos. Aunque la norma chilena NCh 2880 no establece límites específicos para este parámetro, su análisis sirve como criterio complementario para evaluar la calidad del compost.

4.5. Evaluación de la calidad del compost según estándares normativos

4.5.1. Norma chilena

La **Tabla 10** presenta una evaluación del control de calidad del compost, considerando indicadores físicos, macronutrientes y micronutrientes, los cuales son comparados con los rangos establecidos por la Norma Técnica Chilena NCh 2880. A partir de esta comparación, se determina la clasificación correspondiente del compost en las categorías definidas por dicha norma. Cabe destacar que esta normativa es aplicable exclusivamente a compost elaborado a partir de residuos orgánicos de origen agrícola y pecuario. No obstante, independientemente del tipo de compost o tratamiento aplicado, los materiales de base utilizados comparten características similares. En este contexto, resulta particularmente relevante analizar cómo varía la calidad del compost obtenido a partir de diferentes tratamientos, al contrastarlo con los criterios técnicos establecidos en la norma chilena vigente. Esta comparación permite identificar el cumplimiento de los requisitos de calidad y la posible aptitud del producto para su uso en distintas aplicaciones agrícolas o ambientales.

Tabla 10. Contraste de calidad con la norma técnica chilena

Indicador	NOCh-2880		Tratamientos					
	Clase A	Clase B	T1	T2		T3		
pH	5-7,5	<5 y >7.5	7.42	A	6.16	A	5.22	A
Humedad (%)	<25	25-40	64.45	C	66.43	C	68.27	C
MO (%)	> 45	25-45	19.95	C	26.05	B	27.16	B
Cenizas (%)	Max. 60	--	15.58	A	7.51	A	4.56	A
N (%)	> 0.8	--	1.09	A	1.40	A	1.41	A
P ₂ O ₅ (%)	0,3-1,8	--	1.02	A	0.30	A	0.18	B
Ca (%)	>1	--	0.52	B	0.28	B	0.20	B
Mg (%)	>1	--	0.14	B	0.15	B	0.15	B
K (%)	>1	--	4.82	A	1.30	A	1.16	A
Cu (ppm)	<100	100-1000	64.70	A	44.02	A	53.94	A
Fe (ppm)	--	--	5923.12	--	3015.61	--	1552.31	--
Zn (ppm)	<200	200-2000	119.26	A	114.35	A	214.16	A
Mn (ppm)	--	--	170.70	--	379.73	--	242.05	--
	Calidad		B	B		B		

NOCh. Norma técnica chilena, T compost pila 1 y 2 Y 3, A alta calidad, B calidad media, C calidad baja

De acuerdo con la normativa chilena vigente en materia de gestión y aprovechamiento de residuos orgánicos en compost, son clasificados en Categoría o Clase B de manera generalizada. El tratamiento T3 destacó por presentar el mayor contenido de materia orgánica (27,16 %) y el mayor porcentaje de nitrógeno (1,41 %), indicadores clave de un compost más estable y con mayor valor agronómico. Además, su contenido de potasio y calcio se mantuvo dentro de rangos aceptables, lo que favorece su uso como enmienda orgánica para mejorar la fertilidad del suelo. Aunque su pH fue ligeramente más ácido, este valor resulta favorable para su aplicación en suelos alcalinos o en cultivos que toleran acidez moderada.

El tratamiento T2 presentó un pH cercano al rango óptimo (6,16) y una materia orgánica intermedia (26,05 %), lo que indica un compost relativamente equilibrado. Sus concentraciones de nutrientes fueron adecuadas y sin excesos, lo que lo hace apto para uso agrícola general; sin embargo, su menor contenido de materia orgánica y nitrógeno en comparación con T3 lo ubica en una posición secundaria dentro de la calidad B.

Por otro lado, el tratamiento T1 mostró la menor calidad relativa, debido principalmente a su bajo contenido de materia orgánica (19,95 %) y a un pH más elevado (7,42), cercano al límite superior establecido por la norma. Aunque presentó altos valores de potasio, estos no compensan la menor estabilidad del material, lo que reduce su eficiencia como enmienda orgánica.

En este sentido, los altos niveles de humedad implican una mayor masa fresca a transportar y distribuir, lo que puede incrementar los costos logísticos y dificultar la

dosificación precisa en campo (Ríos-Velásquez, 2023). De manera complementaria, la reducida proporción de materia orgánica limita la capacidad del compost para contribuir de manera significativa a la fertilidad del suelo, en términos de suministro de nutrientes esenciales, incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y mejora de la estructura edáfica (Garrido-Acosta, 2023). Asimismo, la menor concentración de magnesio puede restringir la disponibilidad de este macronutriente secundario, relevante para la fotosíntesis y la síntesis de clorofila, afectando indirectamente el rendimiento de los cultivos. Desde un enfoque agronómico, estos parámetros ponen de manifiesto la necesidad de ajustar estrategias de manejo, tanto en la etapa de producción del compost como en su aplicación en campo, con el fin de maximizar sus beneficios como enmienda orgánica y garantizar su integración eficiente en sistemas de fertilización sostenible.

Al establecer una comparación entre el valor nutricional inicial de la pulpa de café **tabla 9** y los valores finales obtenidos en el compost **tabla 10**, se observa un comportamiento diferenciado entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T1 (baja altitud) presentó la menor calidad según los parámetros finales del compost, lo cual se relaciona de manera inversa con su valor nutrimental inicial, ya que este registró los valores más elevados. En el caso del tratamiento T2 (altitud media), los resultados finales del compost se ajustan de mejor manera a los rangos óptimos de calidad establecidos por la normativa vigente; sin embargo, el valor nutrimental obtenido fue inferior en comparación con los demás tratamientos. Finalmente, el tratamiento T3 (alta altitud) mostró el comportamiento más estable, ubicándose en el segundo lugar en cuanto al valor nutrimental y presentando, a su vez, los mejores valores cumplimiento de los estándares de calidad definidos por la normativa chilena.

El alto valor nutricional de la pulpa de café no garantiza un mejor compost. Cuando la pulpa tiene mucho nitrógeno, azúcares y compuestos solubles, la actividad microbiana aumenta demasiado durante el compostaje, generando fermentaciones rápidas, altas temperaturas y posibles condiciones anaerobias. Esto provoca pérdidas de nutrientes, especialmente de nitrógeno, por volatilización y lixiviación. Además, los compuestos fenólicos y la cafeína pueden inhibir parcialmente a los microorganismos, retrasando la descomposición y originando un compost inmaduro si no se realiza un adecuado período de curado. Por ello, aunque la pulpa sea inicialmente rica en nutrientes, el compost final puede tener menor disponibilidad de estos elementos debido a las pérdidas ocurridas en el proceso. En conclusión, la calidad del compost depende más del equilibrio de la relación C/N, el control de la humedad, la aireación y la temperatura, que del contenido nutricional inicial de la pulpa (Ramón Ferrer & Gisela Páez, 1995)

V. CONCLUSIONES

1. Los análisis muestran que la pulpa de café es una fuente rica en nutrientes como azúcares, proteínas, fibra, y minerales esenciales (N, P, K, Ca, entre otros), lo que respalda su uso potencial como ingrediente en productos agroalimentarios. Según Ríos de Souza et al. (2014), en base seca, la pulpa contiene concentraciones minerales significativamente mayores que las berries, destacando hasta 10 veces más P, K y Ca.
2. La evaluación de pH, temperatura y humedad indicó que el proceso de compostaje fue funcional, con una humedad dentro del rango óptimo para compostaje (45-55 %), cercano al estándar recomendado (50-60 %), lo que favorece la actividad microbiana y la aireación. Sin embargo, la temperatura máxima alcanzada fue de 45 °C, un valor moderado que sugiere una fase termofílica débil o limitada, lo que puede retrasar la madurez y sanitización del compost. El pH mostró valores compatibles con la estabilización del material. En conjunto, estos resultados resaltan la necesidad de optimizar el manejo térmico, manteniendo condiciones adecuadas de humedad y aireación, para mejorar la actividad biológica y garantizar un compost de calidad conforme a los estándares establecidos...
3. El compost analizado ha sido clasificado como de calidad media, conforme a los parámetros establecidos por la normativa chilena vigente. Dentro de los resultados obtenidos, se observó un alto contenido de humedad. En contraste, se detectaron bajas concentraciones de materia orgánica (MO), calcio (Ca) y magnesio (Mg), lo que puede limitar su eficacia como enmienda orgánica en su estado actual. En lo que respecta a la concentración de micronutrientes o metales pesados, los análisis realizados en las distintas pilas y camas de compost revelaron diferencias altamente significativas en los niveles de cobre (Cu), manganeso (Mn) y hierro (Fe), además de diferencias significativas en zinc (Zn). Aunque en términos generales se identificaron valores levemente superiores en el tratamiento 3 (T3), todos los tratamientos evaluados presentan la necesidad de ser sometidos a técnicas de mejora y ajuste, con el objetivo de incrementar su calidad como fertilizante orgánico. En conclusión, aun cuando los tres tratamientos cumplen con los criterios para ser clasificados como composta de calidad B, el tratamiento T3 es el de mejor calidad dentro de esta categoría, seguido por T2 y finalmente T1, debido a su mayor estabilidad, mejor contenido nutricional y mayor potencial de mejora del suelo.

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. Llevar a cabo investigaciones que analicen la actividad respiratoria desde la etapa inicial del proceso, con el fin de monitorear la evolución de la madurez del compost a lo largo del tiempo.
2. Estandarizar el proceso de secado de la pulpa de café en todos los tratamientos antes de su incorporación a las composteras, con el objetivo de garantizar condiciones iniciales homogéneas que eviten variaciones que puedan influir en la dinámica del compostaje y, por ende, en los resultados tanto iniciales como finales del proceso.
3. Incluir en futuras investigaciones la diferenciación de la pulpa de café según la variedad del cafeto utilizada, con el propósito de determinar si existen variaciones significativas en las características fisicoquímicas iniciales y en los resultados finales del compost, atribuibles a las particularidades propias de cada variedad.
4. Incorporar co-sustratos agroindustriales (como cáscara de plátano, estiércol o bagazo de caña) para ajustar la relación carbono/nitrógeno y mejorar la calidad del compost.
5. Evaluar el potencial de implementación del proceso de compostaje de pulpa de café a una escala mayor, tanto en contextos comunitarios como industriales, considerando aspectos técnicos, económicos y sociales. Esta evaluación debe orientarse a determinar la factibilidad de utilizar el compost obtenido como fertilizante orgánico en sistemas agrícolas locales, promoviendo prácticas sostenibles dentro de un enfoque de economía circular que favorezca la valorización de residuos agroindustriales y el desarrollo local.
6. Profundizar en el estudio comparativo entre tratamientos elaborados con pulpa de café proveniente de diferentes altitudes, incorporando variables más sensibles como el contenido de sustancias húmicas y la realización de pruebas de fitotoxicidad. Esto permitirá una evaluación más precisa de la calidad del compost, considerando los criterios establecidos por la normativa técnica chilena vigente.
7. Se recomienda establecer una gestión continua del monitoreo de calidad del compost e impulsar investigaciones que permitan corregir los parámetros que no cumplen con los estándares de compost de alta calidad, con el fin de mejorar el valor agregado del producto.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angélica Sadzawka R. (2019). Requisitos analíticos del compost y de las materias primas para compostaje según la norma chilena nch 2880 2880. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/d14845cf-16f6-47f8-8ea2-8673defe9eda/content>
- Aguirre-Illatopa, J.G., Florida-Rofner, N., Ríos-Velasquez, E.A., & Lévano-Crisóstomo, J.D. (2024). Producción y caracterización de compost derivado de residuos sólidos orgánicos urbanos. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 27(1):e2432. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2432>
- Bazán, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Repositorio INIA. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/3e246861-3056-46b4-9464-f8a175f77fe3>
- Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultura & Animal. Sciences.* 35(2),126-136. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- Bailón, M. R., & Florida, N. (2020). Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology.* 100(22),5444-53. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Bressani, R., Estrada, E., & Joaquín, R. (1972). Pulpa y pergamino de café: Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. *Turrialba*, 22, 299–309. <https://bvssan.incap.int/local/E/E-598.pdf>
- Bohórquez, A., Puentes, Y., & Menjivar, J. C. (2015). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 73–81 https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398
- Bueno, M., Díaz, B., Cabrera, C. (2017). Factores que afectan al proceso del compostaje. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- BIOAGRO. (2009). Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en Caspito municipio Andrés Eloy Blanco, Estado Lara, Venezuela. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000200004

- Carrión, C., Abad, M., Fornes, F., Noguera, V., Puchades, R., Maquieira, A., Botella, S., & García, R. (2024). Acidification of composts from agricultural wastes to prepare nursery potting mixtures. *Acta Horticulturae*. 779:333-340.
- Cuellar, P. (2022). Compostaje de pulpa de café mediante la incorporación de microorganismos eficientes de montaña en el municipio de Pitalito – Huila. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/49524/jacuellarpa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dias, V., & Meike, C. (2017). Sector de café en el peru. Iniciativa global del programa de las naciones unidas para el desarrollo. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/2017/pncafe/sector-cafe-peru.pdf>
- Farrel, M. & Jones, D. (2009). Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. *Bioresour. Technol.* 100: 4301-4310. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Evolution+of+extracellular+enzyme+activities+during+manure+composting&author=Tiquia+S.+M.&publication_year=2002&journal=J.+Appl.+Microbiol.&volume=92&pages=764-75
- Florido, R., & Bailón, R. (2021). Caracterización y calidad del compost producido y comercializados en Rupa Rupa – Huánuco. vol. 12, núm. 1, pp. 1-11, 2021. https://www.redalyc.org/journal/5722/572264961001/html/#redalyc_572264961001_ref25
- Florida, N., & Reategui, F. (2019). Compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*). *Livestock Research for Rural Development*, 31(11), s. p. <http://www.lrrd.org/lrrd31/1/nelin31011.html>
- Figueroa H.J.G. y Mendoza, A.J. 2010. Cuantificación de minerales K, Ca, Mg y P en pulpa y pergamino de café (*Coffea arabica* L. var. *Typica*). *RVCTA*. 1: 221-230. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20113065014>
- Fierro, C., Contreras, O., Gonzales, R., Rosa, M., Morales, R. (2017). Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.). <file:///C:/Users/ACER/Downloads/iluna,+Journal+manager,+con-2.pdf>
- García, C., F. Fernández, M. Costa y M. Ayuso. 1992. Evaluation of the maturity of municipal composts using simple chemical parameters. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=655275&pid=S1316-3361200900020000400010&lng=es

- Garrido-Acosta, L. R., Florida-Rofner, N., Nazar- Cipriano, J., & Rengifo-Rojas, A. (2023). Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú. *Produccion + Limpia*. 18(01), 118-137. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a8>
- Guzmán, J. M. (2021). Evaluación del compostaje de estiércol de caballo de un centro ecuestre en la región lima. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4965>
- Guerrero, R., & Moreno, C. (2010). Proyecto de investigación para el aprovechamiento de pulpa y mucilago de café (coffea Arabiga) mediante la elaboración de una bebida fermentada. <https://sired.udenar.edu.co/5296/1/81547.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. (2014). Metodología de la Investigación. 6° Edición. Mc GRAW-HILL. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- INTEC. 1999. Manual de compostaje. corporación de investigación tecnológica de Chile. Santiago. 82p. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=655278&pid=S1316-3361200900020000400013&lng=es
- Instituto nacional de estadística informática- INEI (2021). Registro de la producción cafetera en el Perú <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-cafe-se-incremento-170-en-julio-de-2021>
- Jaramillo. L. (2017). Métodos para medir la madurez del compost. https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificaci%C3%B3n.pdf
- Ministerio del ambiente - MINAM. (2015). Datos de bosque y pérdida de Bosque. <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.ph>
- Laura, S., Torres, P. (2019). Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación matemática y efecto sobre propiedades fisicoquímicas https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid
- López, E. (2009). guía técnica abonos orgánicos en la caficultura: propiedades, preparación, manejo y uso. CEDICAFE – ANACAFE manual del compostaje del agricultor, pilar Román María M. Martines Alberto Pantoja, oficina nacional para América y el Caribe Santiago de Chile. <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>.
- Ludeña, Q. (2020). Aprovechamiento de la pulpa del café (Coffea arábica L) para incrementar la materia orgánica de los suelos del distrito de San Ignacio. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57223/Lude%c3%b1a_QG-Saavedra_HR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- NCh 2080. 2004. Compost – clasificación y requisitos. Instituto nacional de normalización, Santiago, Chile, 21p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO (2018) [Tesis de grado no publicada]. *Organic Agriculture* <http://www.fao.org/faoterm/es/>
- Pierre, T., & Rosell, P. (2009). Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en Casapito municipio Andrés Bello, estado Lara, Venezuela. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612009000200004&script=sci_abstract
- Pino, P., Varnero, M., & Alvarado, P. (2005). Dinámica del compostaje de residuos vitivinícolas con y sin incorporación de guano broiler. *Revista Colombiana de Suelo y Nutrición Vegetal*, 5(2), 19–25. [file:///C:/Users/Admin/Downloads/vol5\(2\)19-25.pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/vol5(2)19-25.pdf)
- Rahman, M. A., Lee, S. H., Ji, H. C., Kabir, A. H., Jones, C. S., & Lee, K. W. (2018). Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: current status and opportunities. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), 3073. <https://doi.org/10.3390/ijms19103073>
- Ramón Ferrer & Gisela P. (1995). Ensilaje de la Pulpa de Café- *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 1995, https://www.revfacagronluz.org.ve/v12_3/v123z130.html?utm_source=chatgpt.com
- Ramírez, A., Huamán, N. (2023). Análisis de compost a partir de pulpa de café con estiércol de ovino, en la selva de Junín – Perú. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/ba2e8e25-c1fa-4969-90b0-03c46277485b>
- Rivera, Sosa & Ore Huamanchaqui (2018). Aprovechamiento de la cáscara del fruto de café (*Coffea arábica*) de Cajamarca para la obtención de compost como abono orgánico. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28089>
- Ríos-Velásquez, E.A.; Florida-Rofner, N.; Lama-Isminio, D.A. 2023. Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú. *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 26(1):e2371. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n1.2023.2371>
- Ríos de Souza, V. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156, 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.125>
- Revista Forumcafé. (2022). Subiendo la montaña: Efectos de la altitud en el café. *Forum Cultural del Café*. https://forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-46_subiendo_la_montana.pdf

- Rojas, P., & Zeledón, V. (2005). Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características físicas, químicas y biológica del compost. https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/14508/Pillco_Mamani_Katia.pdf;jsessionid=3F9BD1DC066D0EF48005FFA2B6A25BAD?sequence=1
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. P. (2013). Manual de compostaje del agricultor: experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- Serna, J., Torres, V., Martínez, C., & Hernández, S. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista ION*, 31(1), 37–46. <https://www.scielo.org.co/pdf/rion/v31n1/0120-100X-rion-31-01-37.pdf>
- Soto, M. G. (2003). Abonos orgánicos: El proceso de compostaje. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 27pp.
- Uribe, L. L. (2003). Taller de abonos Orgánicos/CATIE. San José, Costa Rica. 10 pp. <http://www.cia.ucr.ac.cr/sites/default/files/2021-09/04%20Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>
- Tchobanoglous, G., H. Theisen y S. Vigil. 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Vol II. McGraw. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=655290&pid=S1316-3361200900020000400025&lng=es
- Tellez, L. A., Ortiz, L. F., Calle, J. L., Jorge, P. A., Cesare, M. F., & Visitación, L. (2019). Estabilización de la bosta de caballo mediante un proceso aeróbico similar al compostaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(1), 25-33. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000100004&lng=es&tlng=es
- Tiquia, S. (2002). Evolution of extracellular enzyme activities during manure composting. *J. Appl. Microbiol.* https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0187-5779201400040029100025&lng=en
- Torres, A. (2016). Uso de pulpa de café en la elaboración de abonos para incrementar la productividad de café. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1257.pdf>
- Valencia, G. (1972). Utilización de pulpa de café en almácigos. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4183>

- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2017). La economía verde: un cambio ambiental y social necesario en el mundo actual. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 8(2), 175-186. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285363>
- Valencia, H. (2021). Alternativas para el manejo del residuo de pulpa de café mediante proceso de compostaje en la Vereda el bosque – municipio yotoco. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/40282>
- Vásquez- de Díaz, M.A., Prada, P.A., Mondragon, M.A. 2010. Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Nova8*:213. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10264616>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO (2013). Manual del compostaje del agricultor. <http://www.fao.org/3/ai3388s.pdf>.
- Yrwin, F., & Ruiz, R. (2014). Aprovechamiento sistemático de la pulpa de café como residuo agrícola y tratamiento de aguas mieles por biorremediación en Alto Mayo - Tarapoto- Perú. <https://core.ac.uk/download/pdf/287328718.pdf>
- León, Jorge (2000). «Café arábigo». *Botánica de los cultivos tropicales* (2.^a edición). Agroamérica. https://books.google.com.pe/books/about/Bot%C3%A1nica_de_los_cultivos_tropicales.html?id=NBtu79LJ4h4C&redir_esc=y
- Sánchez, Z., & Ordaz, B. (2023). Monitoreo del proceso de compostaje a partir de residuos cítricos y de café, en condiciones climáticas de Misantla, Veracruz. <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/pdfversion/ingeniantes10no1vol1.pdf>
- SENAMHI. (2021). Características generales del clima en Tingo María. <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Suárez AJM. Aprovechamiento de los residuos provenientes del beneficio del café, en el municipio de Betania de Antioquia: Usos y aplicaciones [Especialización]. Caldas, Antioquia: Corporación universitaria Lasallista; 2012.

VIII. ANEXO

8.1. Análisis estadísticos

Tabla 11. Comparación de medias para el % de humedad

Variable dependiente: % de humedad					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	43,541a	2	21,771	22,595791	<0,01**
Intersección	79320,914	1	79320,914	82327,42	<0,01**
Tratamiento	43,541235	2	21,771	22,595791	<0,01**
Error	14,452217	15	0,963		
Total	79378,907	18			
Total, corregido	57,993452	17			

a. R al cuadrado = 0,751 (R al cuadrado ajustada = 0,718)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 12. Prueba post-hoc de Tukey para el % de humedad

Variable: Humedad				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	6	64,45766667		
T2	6		66,425	
T3	6			68,26666667
Sig.		1	1	1

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Alfa = 0,05

a, b, c subconjunto homogéneo

Tabla 13. Comparación de medias para el % de cenizas

Variable dependiente: % de Cenizas					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	390,477a	2	195,238	174,27255	<0,01**
Intersección	1529,045	1	1529,045	1364,8477	<0,01**
Tratamiento	390,47663	2	195,238	174,27255	<0,01**
Error	16,804567	15	1,120		
Total	1936,3262	18			
Total, corregido	407,2812	17			

a. R al cuadrado = 0,959 (R al cuadrado ajustada = 0,953)

Tabla 14. Prueba post-hoc de Tukey para el % de cenizas

Variable: Cenizas				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	6	4,5616667		
T2	6		7,5083333	
T3	6			15,58
Sig.		1	1	1

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Alfa = 0,05

A y b subconjuntos homogéneos

Tabla 15. Comparación de medias para el Ph

Variable dependiente: pH					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	14,631a	2	7,316	669,10569	<0,01**
Intersección	707,13069	1	707,131	64676,587	<0,01**
Tratamiento	14,631111	2	7,316	669,10569	<0,01**
Error	0,164	15	0,011		
Total	721,9258	18			
Total, corregido	14,795111	17			

a. R al cuadrado = 0,989 (R al cuadrado ajustada = 0,987)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 15. Prueba post-hoc de Tukey para el % de pH

Variable: Ph				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	6	5,2233		
T2	6		6,1567	
T3	6			7,4233
Sig.		1	1	1

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Alfa = 0,05

a, b, c subconjunto homogéneo

Tabla 16. Comparación de medias para el % de MO

Variable dependiente: MO					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	180,941a	2	90,471	99,33113	<0,01**
Intersección	10705,747	1	10705,747	11754,252	<0,01**
Tratamiento	180,94114	2	90,471	99,33113	<0,01**
Error	13,661967	15	0,911		
Total	10900,35	18			
Total, corregido	194,60311	17			

a. R al cuadrado = 0,930 (R al cuadrado ajustada = 0,920)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 17. Prueba post-hoc de Tukey para el % de MO

Variable: MO			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	6	19,95	
T2	6		26,05166667
T3	6		27,16166667
Sig.		1	0,142874085

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica =6,000

Alfa = 0,05

a, b subconjunto homogéneo

Tabla 18. Comparación de medias para él % de N

Variable dependiente: N					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,391a	2	0,195	4,1325309	<0,037*
Intersección	30,435602	1	30,436	643,57311	<0,01**
Tratamiento	0,390868	2	0,195	4,1325309	<0,037*
Error	0,709374	15	0,047		
Total	31,535844	18			
Total, corregido	1,100242	17			

a. R al cuadrado = 0,355 (R al cuadrado ajustada = 0,269)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, * significativo

Tabla 19. Prueba post-hoc de Tukey para él % de N

Variable: N		
HSD Tukey ^{a,b}		
Tratamiento	N	Subconjunto
		a
T1	6	1,092
T2	6	1,4
T3	6	1,409
Sig.		0,057321851

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Alfa = 0,05

a subconjunto homogéneo

Tabla 20. Comparación de medias para el % de P

Variable dependiente: % P					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2,457a	2	1,228	33,788687	<0,01**
Intersección	4,5350681	1	4,535	124,74007	<0,01**
Tratamiento	2,4568528	2	1,228	33,788687	<0,01**
Error	0,5453422	15	0,036		
Total	7,537263	18			
Total, corregido	3,0021949	17			

a. R al cuadrado = 0,818 (R al cuadrado ajustada = 0,794)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 21. Prueba post-hoc de Tukey para el % de P

Variable: P			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	6	0,1841667	
T2	6	0,3016667	
T3	6		1,02
Sig.		0,5478535	1

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

a, b subconjunto homogéneo

Tabla 22. Comparación de medias para él % de Ca

Variable dependiente: % Ca					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,334a	2	0,167	5,7408161	<0,014*
Intersección	2,0207201	1	2,021	69,394315	<0,01**
Tratamiento	0,3343381	2	0,167	5,7408161	<0,014*
Error	0,4367908	15	0,029		
Total	2,791849	18			
Total, corregido	0,7711289	17			

a. R al cuadrado = 0,434 (R al cuadrado ajustada = 0,358)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 23. Prueba post-hoc de Tukey para él % de Ca

Variable: Ca			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	6	0,203	
T2	6	0,2795	0,2795
T3	6		0,5226667
Sig.		0,7226596	0,0637045

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

a, b subconjunto homogéneo

Tabla 24. Comparación de medias para él % de Mg

Variable dependiente: Mg					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,000a	2	0,000	0,1872691	<0,831*
Intersección	0,3898445	1	0,390	345,72602	<0,01**
Tratamiento	0,000422333	2	0,000	0,1872691	<0,831*
Error	0,016914167	15	0,001		
Total	0,407181	18			
Total, corregido	0,0173365	17			

a. R al cuadrado = 0,024 (R al cuadrado ajustada = -,106)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo, * significativo

Tabla 25. Prueba post-hoc de Tukey para él % de Mg

Variable: Mg		
HSD Tukey ^{a,b}		
Tratamiento	N	Subconjunto
		a
T1	6	0,1415
T2	6	0,146666667
T3	6	0,153333333
Sig.		0,816720121

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Alfa = 0,05

a subconjunto homogéneo

Tabla 26. Comparación de medias para él % de K

Variable dependiente: % K					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	51,672a	2	25,836	123,40677	<0,01**
Intersección	105,74458	1	105,745	505,09043	<0,01**
Tratamiento	51,672317	2	25,836	123,40677	<0,01**
Error	3,1403657	15	0,209		
Total	160,55726	18			
Total, corregido	54,812683	17			

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 27. Prueba post-hoc de Tukey para él % de K

Variable: K			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	6	1,1556667	
T2	6	1,2971667	
T3	6		4,8185
Sig.		0,855189	1

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

a, b subconjunto homogéneo

Tabla 28. Comparación de medias para él Zn

Variable dependiente: % Zn					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	37985,167a	2	18992,583	5,1426054	<0,02*
Intersección	400987,59	1	400987,587	108,57506	<0,01**
Tratamiento	37985,167	2	18992,583	5,1426054	<0,02*
Error	55397,746	15	3693,183		
Total	494370,5	18			
Total, corregido	93382,913	17			

a. R al cuadrado = 0,407 (R al cuadrado ajustada = 0,328)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo, * altamente significativo

Tabla 29. Prueba post-hoc de Tukey para él Zn

Variable: Zn			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	6	114,34783	
T2	6	119,25833	
T3	6		214,15917
Sig.		0,9892673	1

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

a, b subconjunto homogéneo

Tabla 30. Comparación de medias para él Fe

Variable dependiente: % Fe					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	59397679, 223a	2	29698840		
				7,49	<0,001**
Intersección	220123658,7	1	220123659		
				55,514	<0,01**
Tratamiento	59397679,22	2	29698840		
				7,49	<0,001**
Error	59477775,3	15	3965185		
Total	338999113,2	18			
Total, corregido	118875454,5	17			

a. R al cuadrado = 0,500 (R al cuadrado ajustada = 0,433)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 31. Prueba post-hoc de Tukey para él Fe

Variable: Fe			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	6	1552,305	
T2	6	3015,614	3015,614
T3	6		5923,1167
Sig.		0,4312053	0,0568734

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

a, b subconjunto homogéneo

Tabla 32. Comparación de medias para el Mn

Variable dependiente: Mn					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	135487,039a	2	67743,519	94,899437	<0,01**
Intersección	1256048	1	1256048,044	1759,5521	<0,01**
Tratamiento	135487,04	2	67743,519	94,899437	<0,01**
Error	10707,68	15	713,845		
Total	1402242,8	18			
Total, corregido	146194,72	17			

a. R al cuadrado = 0,927 (R al cuadrado ajustada = 0,917)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 33. Prueba post-hoc de Tukey para el Mn

Variable: Mn				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	6	170,6983		
T2	6		242,0482	
T3	6			379,7332
Sig.		1	1	1

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Alfa = 0,05

a, b, c subconjunto homogéneo

Tabla 34. Comparación de medias para el Cu

Variable dependiente: Cu					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1283, 667a	2	641,834	17,236036	<0,01**
Intersección	52924,142	1	52924,142	1421,2442	<0,01**
Tratamiento	1283,6674	2	641,834	17,236036	<0,01**
Error	558,56843	15	37,238		
Total	54766,378	18			
Total, corregido	1842,2358	17			

a. R al cuadrado = 0,697 (R al cuadrado ajustada = 0,656)

gl grados de libertad, F función de probabilidad, Sig. Significancia, ** altamente significativo

Tabla 35. Prueba post-hoc de Tukey para el Cu

Variable: Cu				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	6	44,0235		
T2	6		53,9448	
T3	6			64,7033
Sig.		1	1	1

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Alfa = 0,05

a, b, c subconjunto homogéneo

IX. PANEL FOTOGRAFICO

Trabajos de campo y extracción de muestras



Figura 24. Despulpado y recolección de muestra



Figura 25. Proceso de secado al sol de residuos de café



Figura 26. Incorporación de pulpa de café en pilas de compostaje



Figura 27. Formulación de cultivos de microorganismos eficientes



Figura 28. Inoculación del compost con microorganismos eficientes (ME)



Figura 29. Medición de variables ambientales: temperatura y humedad



Figura 30. Medición de variables ambientales: pH



Figura 31. Décimo tercera semana del proceso de compostaje



Figura 32. Resultado de análisis en laboratorio de caracterización de pulpa de café en base seca

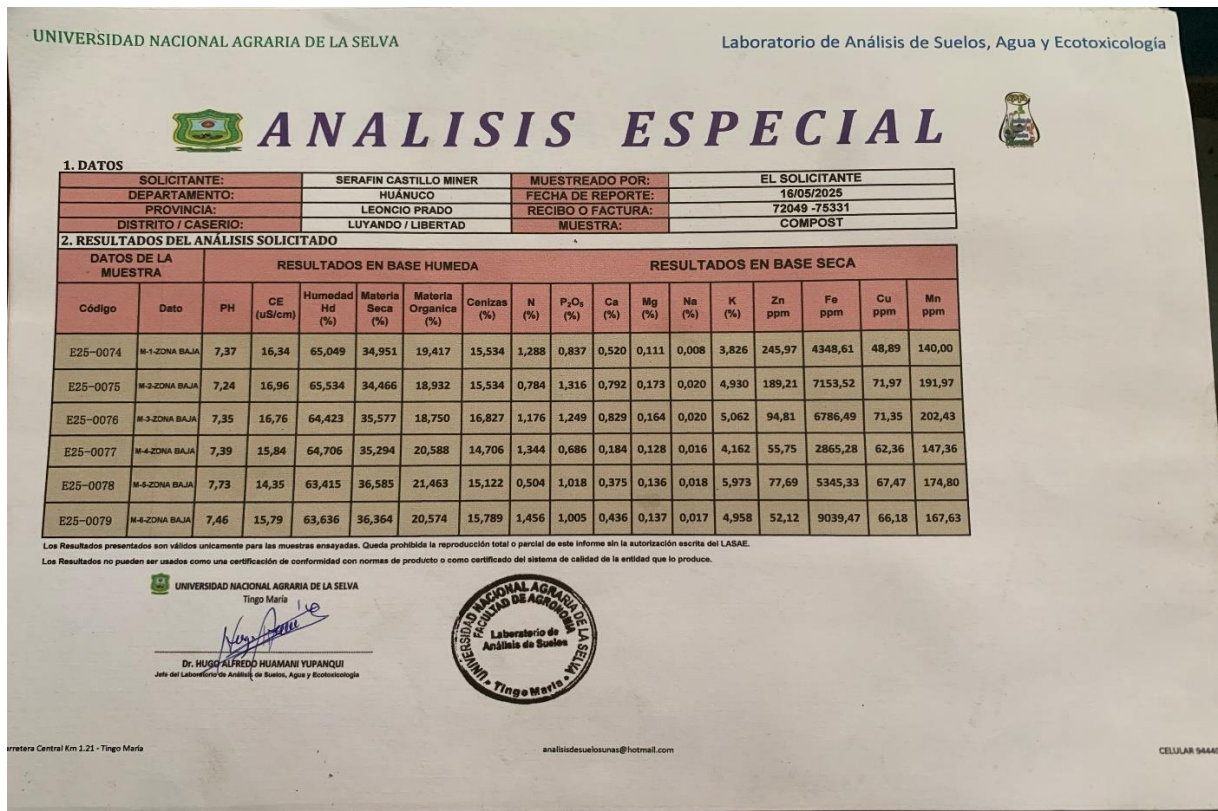


Figura 33. Resultados del compost analizado en laboratorio – T1 (zona baja)

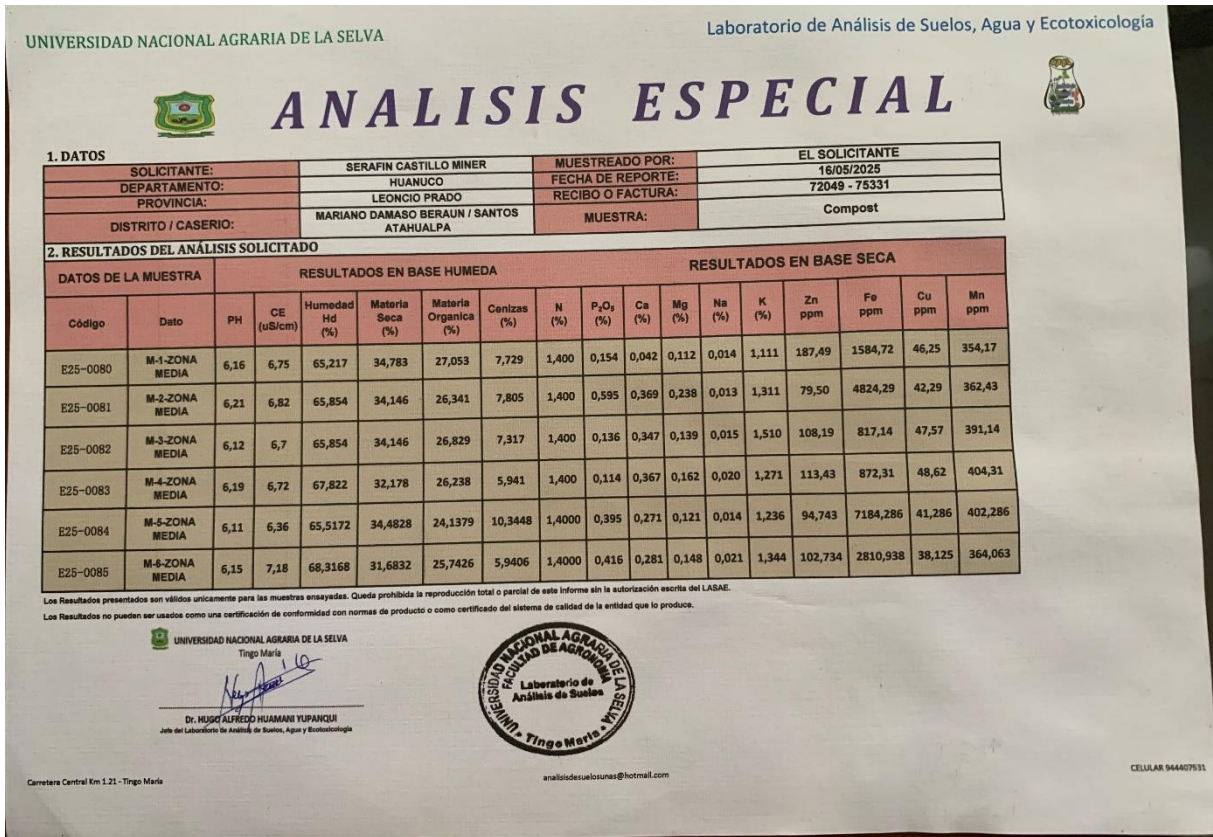


Figura 34. Resultados del compost analizado en laboratorio – T1 (zona media)

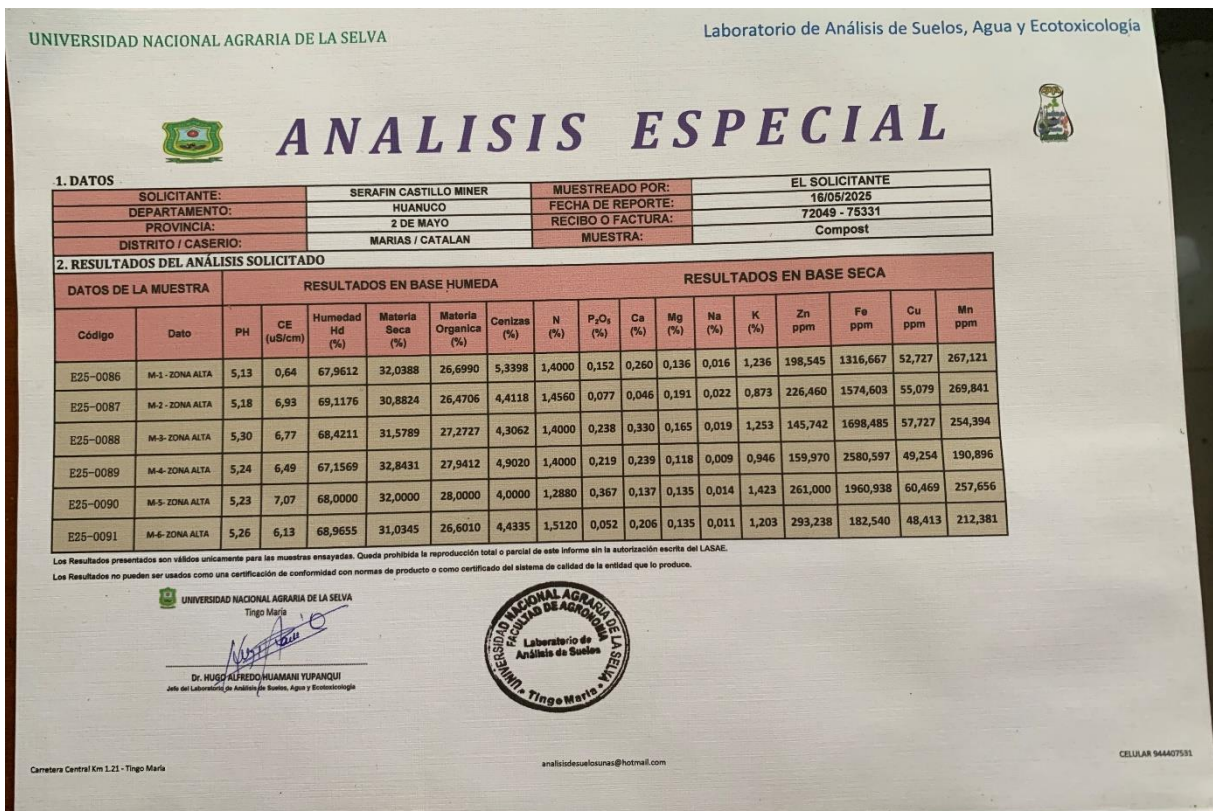


Figura 35. Resultados del compost analizado en laboratorio – T1 (zona media)