

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**APLICACIÓN DE ADITIVOS MINERALES PARA LA REDUCCIÓN
DE PÉRDIDAS DE NITRÓGENO POR VOLATILIZACIÓN
DURANTE EL COMPOSTAJE DE PULPA DE CAFÉ**

Presentado por:

OSWALDO ARTURO DÍAZ ARCA

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

Lima – Perú

2017

DEDICATORIA

A Dios, por todas las bendiciones y oportunidades que me ha mostrado en esta vida.

A Armando, Teonila, Reynaldo y Javier, por ser un pilar durante el trabajo.

A Sady, por ser un excelente profesor y mentor en este proceso.

A Liz, por los ánimos y su hermosa compañía.

AGRADECIMIENTOS

A *Dios*, por permitir que se den las cosas.

A *mis padres* y hermanos por apoyarme y motivarme en todo momento para terminar este trabajo, además de sus consejos.

A mi asesor de tesis *Mg. Sc. Sady García Bendejú* por guiarme durante todo el proceso y por su paciencia y excelente trato.

Al *Ing. Ezio Varese* por la confianza en mi trabajo y el apoyo brindado durante el trabajo de investigación.

A la ONG patrocinadora *Solidaridad* que me brindo las herramientas necesarias para realizar este trabajo y parte del financiamiento.

Al *Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes* de la UNALM por brindarme herramientas para los análisis y el espacio adecuado.

A mis buenos e incondicionales amigos de la *CBU* de la agraria por el apoyo con sus oraciones y por acompañarme en las labores necesarias.

A mi buen amigo *Javier Palomino* por su asesoría y consejos durante el trabajo realizado.

A *Liz*, por su amor y cariño en todo momento y darme motivación para terminar este trabajo.

A mi querida alma mater la *UNALM* por ser espacio de buenos y gratos momentos.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1	Botánica y taxonomía del café.....	3
2.2	Anatomía del fruto	4
2.3	Beneficio del café	4
2.4	Composición de la pulpa del café	5
2.1	El proceso de compostaje y los indicadores de madurez.....	6
2.1.1	Indicadores físicos	8
2.1.2	Indicadores químicos.....	9
2.1.3	Indicadores basados en la materia orgánica humificable	12
2.1.4	Indicadores de fitotoxicidad	13
2.2	Pérdidas de nitrógeno.....	13
2.3	Enmiendas para la captura de nitrógeno	15
III.	MATERIALES Y METODOS	16
3.8	Lugar	16
3.9	Fuentes de materia orgánica.....	16
3.10	Enmiendas fijadoras de amonio	17
3.11	Tratamientos.....	18
3.12	Materiales y equipo	20
3.12.1	Fase de invernadero	20
3.12.2	Fase de laboratorio.....	20
3.13	Procedimiento.....	21
3.13.1	Preparación de residuos	21
	Compostaje de residuos	21
3.13.2	Análisis inicial de los materiales	22
3.14	Parámetros evaluados:.....	23
3.14.1	Temperatura.....	23
3.14.2	Densidad aparente.....	23
3.14.3	Contenido de humedad	24
3.14.4	Conductividad eléctrica	24
3.14.5	Ph.....	24
3.14.6	Nitrógeno total.....	24
3.14.7	Carbono orgánico total	25
3.14.8	Relación C/N	26
3.14.9	Sustancias húmicas	26

3.14.10	Prueba biológica.....	26
3.15	Análisis estadístico.....	27
3.15.1	Diseño experimental.....	27
3.15.2	Tratamiento estadístico.....	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	Indicadores físicos/sensoriales.....	29
4.1.1	Temperatura.....	29
4.1.2	Densidad aparente.....	33
4.1.3	Contenido de humedad.....	36
4.2	Indicadores químicos	39
4.2.1	Conductividad eléctrica	39
4.2.2	pH	41
4.2.3	Contenido de nitrógeno	45
4.2.4	Contenido de carbono orgánico.....	50
4.2.5	Relación C/N	54
4.3	Indicadores basados en la materia orgánica humificada.....	55
4.2.6	Relación AH/AF.....	55
4.4	Indicadores de fitotoxicidad.....	57
4.2.7	Índice de germinación	57
V.	CONCLUSIONES.....	59
VI.	RECOMENDACIONES.....	60
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	61
VIII.	ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Distribución porcentual de las estructuras principales del café en cereza base seca.	5
Cuadro 2: Componentes orgánicos presentes en la pulpa del café.....	6
Cuadro 3: Influencia de la relación C/N sobre la recuperación de nitrógeno.....	12
Cuadro 4: Análisis fisicoquímico de las fuentes orgánicas utilizadas para el compostaje..	17
Cuadro 5: Propiedades físico-químicas de zeolita y suelo franco arcilloso (arcilla roja) de selva.	18
Cuadro 6: Tratamientos utilizados para el diseño experimental.....	19
Cuadro 7: Dosis de insumos orgánicos y enmiendas minerales utilizadas en los tratamientos para medir el efecto de dos enmiendas en el compostaje de pulpa de café a dos mezclas.	20
Cuadro 8: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la densidad aparente (g/dm^3) a los 0, 68 y 117 días después de la instalación.....	35
Cuadro 9: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre el contenido de humedad (%) a los 0, 43 y 67 y 130 días después de la instalación.	37
Cuadro 10: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la conductividad eléctrica de los compost cosechados a los 130 días después de la instalación.....	40
Cuadro 11: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre el pH a los 130 días después de la instalación y la variación del pH del día 0 al día 130 después de la instalación.	42
Cuadro 12: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la concentración de nitrógeno a los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación y el nitrógeno total recuperado respecto al inicial.....	47
Cuadro 13: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la concentración de carbono y el carbono total recuperado de los compost maduros a los 130 días después de la instalación.	52
Cuadro 14: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la relación C/N, relación AH/AF y el índice de germinación de los compost cosechados a los 130 días después de la instalación.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de la temperatura (-) y pH (...) durante las diferentes etapas del compostaje (Costa, 1991).	10
Figura 2: Experimento montado en las instalaciones del CONSAS en la UNALM.	22
Figura 3: Secado de muestras a estufa para la determinación del porcentaje de humedad y contenido de nitrógeno en compost.	26
Figura 4: Experimento montado y aleatorizado en las instalaciones de la UNALM.	27
Figura 5: Variación temporal de la temperatura durante el proceso de compostaje de pulpa de café para los seis tratamientos.	30
Figura 6: Variación temporal de la temperatura a dos profundidades (10 y 20 cm) durante el compostaje de pulpa de café para los seis tratamientos.	32
Figura 7: Variación temporal de la densidad aparente durante el proceso de compostaje a los 0, 68 y 117 días después de la instalación para los seis tratamientos.	33
Figura 8: Efecto de la mezcla de insumos y de la aplicación de dos enmiendas minerales sobre la densidad aparente del compost determinada 117 días después de la instalación... ..	34
Figura 9: Variación temporal del contenido de humedad durante el proceso de compostaje a los 0, 43, 67 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.	36
Figura 10: Colonias de diversos microorganismos observados al primer volteo en el interior del compost: a) Presencia de actinomicetos en pila del tratamiento ArM, b) Tratamiento CP de coloración rojiza y consistencia pastosa por exceso de humedad, c) Colonias de hongos amarillos, d) Colonias de hongos azules en la pulpa del café.	38
Figura 11: Variación temporal de la conductividad eléctrica en pasta de saturación durante el proceso de compostaje para los 0, 78 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.	39
Figura 12: Variación temporal del pH en pasta de saturación durante el proceso de compostaje para los 0, 78 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos. ...	41
Figura 13: Valores de la variación de pH del día 0 al día 130 después de la instalación del compostaje de pulpa de café para los seis tratamiento.	44
Figura 14: Variación temporal del contenido de nitrógeno durante el proceso de compostaje para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.	46
Figura 15: Variación temporal del porcentaje de nitrógeno total recuperado respecto al inicial durante el proceso de compostaje para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.	48
Figura 16: Valores del porcentaje de nitrógeno total recuperado de los compost obtenidos con respecto al inicial para los seis tratamientos.	49
Figura 17: Variación temporal del contenido de carbono orgánico durante el proceso de compostaje para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.	51
Figura 18: Variación temporal del porcentaje de carbono total recuperado a los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación con respecto al inicial en los seis tratamientos.	53
Figura 19: Variación temporal de la relación C/N durante el proceso de compostaje para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.	54
Figura 20: Valores del parámetro relación AH/AF de los compost cosechados para los seis tratamientos.	56
Figura 21: Valores del índice de germinación probado en el extracto de los compost cosechados para los seis tratamientos.	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la densidad aparente, contenido de humedad y la conductividad eléctrica de los compost cosechados en diferentes días después de la instalación.....	67
Anexo 2: Análisis estadístico de temperatura durante el compostaje	68
Anexo 3: Análisis estadístico de densidad aparente durante el compostaje.....	69
Anexo 4: Análisis estadístico del porcentaje de humedad durante el compostaje	73
Anexo 5: Análisis estadístico de la conductividad eléctrica durante el compostaje	75
Anexo 6: Análisis estadístico de pH durante el compostaje.....	79
Anexo 7: Análisis estadístico del contenido de nitrógeno durante el compostaje.....	84
Anexo 8: Análisis estadístico del contenido de carbono durante el compostaje.....	89
Anexo 9: Análisis estadístico de la relación C/N durante el compostaje	93
Anexo 10: Análisis estadístico de la relación AH/AF durante el compostaje.....	93
Anexo 11: Análisis estadístico del índice de germinación durante el compostaje	94

RESUMEN

El cultivo del café, un importante producto de exportación agroindustrial, genera diversos residuos; entre ellos, la pulpa de café. Generalmente en el compostaje de pulpa, no se aprovechan correctamente los nutrientes debido a las malas condiciones de compostaje. Un experimento fue instalado con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales (arcilla de selva y zeolita) sobre la pérdida de nitrógeno por volatilización durante el compostaje de pulpa de café con estiércol de conejo y cenizas, y el compostaje de pulpa de café mezclado con recorte de césped en partes iguales, estiércol de conejo y cenizas. El compostaje se realizó en micropilas. Los residuos fueron colocados en baldes de 75 litros en cantidad equivalente a 5 kg de masa seca. Las enmiendas minerales fueron aplicadas al 10 % del peso seco. Un control sin aplicación de enmienda fue agregado para cada combinación de residuos. Se evaluaron las variables temperatura, densidad aparente, contenido de humedad, conductividad eléctrica, pH, contenido de nitrógeno y carbono orgánico, relación C/N, relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos e índice de germinación. Los días de evaluación variaron entre los 0, 43, 48, 67, 68, 78, 117 y 130 días después de la instalación. En el compostaje de pulpa de café sola, la zeolita recuperó significativamente más nitrógeno que el control, mientras que la arcilla recuperó nitrógeno aunque sin diferencia significativa. En el compostaje de mezcla de pulpa de café con recorte de césped, las enmiendas no incrementaron la recuperación de nitrógeno. La mezcla de pulpa de café con recorte de césped produjo un compost con mejores características (retención de humedad, densidad aparente, temperatura, pH, carbono orgánico, relación AH/AF e índice de germinación) durante el compostaje y en el compost cosechado, comparado con el compost de pulpa de café sola como insumo orgánico principal.

Palabras clave: compostaje, pulpa de café, nitrógeno recuperado, zeolita, arcilla.

ABSTRACT

The coffee crop, an important product of the agro-industrial export, generates diverse residues; among them, the coffee pulp. Generally in the composting of pulp, nutrients are not taken advantage correctly due to the poor conditions of composting. An experiment was carried out with the objective of evaluating the effect of the application of two mineral amendments (forest clay and zeolite) on the loss of nitrogen by volatilization during the composting of coffee pulp mixed with rabbit manure and ashes, and composting of coffee pulp mixed with lawn trimming in equal proportions, rabbit manure and ashes. Composting was carried out in micropiles. Residues were placed in buckets of 75 liters in amount equivalent to 5 kg of dry matter. Mineral amendments were applied to 10 % of dry weight. A control without amendment application was added for each residue mix. The variables temperature, bulk density, moisture content, electrical conductivity, pH, nitrogen and organic carbon content, C/N ratio, humic acid/fulvic acid ratio and germination index were evaluated. The days of evaluation varied between 0, 43, 48, 67, 68, 78, 117 and 130 days after the installation. In the composting of only coffee pulp, the zeolite recovered significantly more nitrogen than the control, while the clay recovered nitrogen although without significant difference. In the composting of coffee pulp mixed with lawn trimming, the amendments did not increase nitrogen recovery. The mixture of coffee pulp with lawn trimming produced a compost with better characteristics (moisture retention, bulk density, temperature, pH, organic carbon, HA/FA ratio and germination index) during composting and in harvested compost, compared to compost of only coffee pulp as main organic input.

Key words: composting, coffee pulp, nitrogen recovered, capture, zeolite, clay.

I. INTRODUCCION

El café es uno de los productos de exportación agroindustrial más importantes en países tropicales. Su cultivo genera altos ingresos económicos (Sánchez *et al.*, 1999), pero también puede ser fuente de varios residuos, los cuales de no ser tratados convenientemente pueden causar problemas ambientales (Vásquez *et al.*, 2010) como la contaminación de fuentes de agua. El beneficio del café por el método en húmedo produce tres subproductos principales: la pulpa, el mucílago y las aguas residuales (Rolz *et al.*, 1980); de estos residuos, la pulpa representa aproximadamente 40 % del peso de la baya madura (Rolz *et al.*, 1980; Calzada *et al.*, 1984). La pulpa de café es usualmente dispuesta sin ningún tratamiento y se deja degradar naturalmente en pilas, con liberación no controlada de olores desagradables y lixiviados cargados de nutrientes. Bajo estas condiciones, alcanzar la estabilización de la materia orgánica puede tomar entre 6 a 8 meses, pero el nitrógeno en el residuo no representará más del 2 % del peso seco (Sánchez *et al.*, 1999).

El compostaje representa una tecnología muy eficaz para manejar la pulpa de café, permitiendo su rápida descomposición y la recuperación de los nutrientes contenidos en ella para su uso agrícola (Srikantha y Shiju, 2013), al culminar en un fertilizante orgánico de alta calidad. Sin embargo, entre muchos productores de café, el proceso no es manejado adecuadamente, por lo que existen altas pérdidas de nitrógeno. Estas pérdidas se producen en tres formas diferentes, la más importante es por volatilización de amoníaco. (Eklind y Kirchmann, 2000). Pérdidas totales que varían entre 33 a 50 % del nitrógeno inicial han sido reportadas durante el compostaje (Witter y Lopez-Real, 1988). La pérdida de nitrógeno es uno de los principales inconvenientes que se producen durante el compostaje, ya que puede originar problemas medioambientales además de suponer un empobrecimiento en el valor agronómico del producto final (Martins y Dewes, 1992).

El uso de minerales con alta superficie específica ha sido ensayado para reducir las pérdidas de amonio. Las zeolitas tienen una capacidad de adsorción de amoníaco que varía entre 6.25 a 14.15 mg de N por g (Bernal y López-Real, 1993).

La capacidad de adsorción de amoníaco de zeolitas y sepiolitas es incluso mayor que su capacidad de adsorción del ion amonio. La zeolita ha sido efectiva en captura el amoníaco perdido durante el proceso de compostaje. La aplicación de 53 g de zeolita por kg de peso de materiales orgánicos pudo retener hasta 80 % de las pérdidas de N. Esta efectividad se ha relacionado con la adsorción de agua (Bernal *et al.*, 1993). Otras arcillas pueden asimismo mostrar alta capacidad de adsorción de amoníaco.

A fin de estudiar el proceso de compostaje de la pulpa de café procedente de zonas productoras en la selva Peruana, y de evaluar la adición de enmiendas para recuperar la mayor cantidad de nutrientes, se plantea el siguiente trabajo de investigación. Se propone la hipótesis de que la combinación de pulpa de café con fuentes fijadoras de nitrógeno como zeolita y arcillas de procedencia local permitirá la producción de compost de alta calidad, a la vez de recuperar el nitrógeno contenido en la pulpa.

La presente investigación tuvo por objetivo principal evaluar el efecto de la aplicación de los agregados minerales arcilla de selva y zeolita sobre la pérdida de nitrógeno durante el compostaje de pulpa de café.

Los objetivos secundarios fueron evaluar y comparar la influencia del uso de zeolita y arcilla de selva, así como del compostaje de pulpa de café y mezcla de pulpa con recorte de césped como insumos principales en la calidad fisicoquímica final de los compost obtenidos.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Botánica y taxonomía del café

El grano de café es producido por plantas del género *Coffea*, perteneciente a la familia Rubiaceae. El género *Coffea* cuenta con más de setenta especies, sin embargo sólo dos especies son comercialmente explotadas en el mundo: *Coffea arabica* (Arábica) que representa el 75 % de la producción mundial, y *Coffea canephora* (Robusta), que provee el 25 % restante (Mussatto *et al.*, 2011). Dentro de género existen más de 25 especies endémicas de África tropical y ciertas islas de océano Índico como Madagascar.

Los cafetos son arbustos que pueden llegar a medir más de 12 metros de altura en estado silvestre; incluso algunas variedades alcanzan hasta 20 metros. Sin embargo, y con el fin de facilitar la recolección, en las plantaciones se podan entre los dos y los cuatro metros de altura. El tronco del cafeto es recto y liso; sus hojas son perennes y mantienen un color verde brillante todo el año. La flor es de color blanco, parecida al jazmín y de vida muy corta, ya que a los tres días de florecer, deja paso al fruto (Ramírez, 2011).

La clasificación taxonómica del café (Alvarado y Rojas, 2007) es:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta (= Angiospermae)

Clase: Magnoliopsidae

Subclase: Asteridae

Orden: Rubiales

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea*

Especies: *C. arabica*, *C. canephora* (= *C. robusta*), *C. congensis*, *C. liberica* var. *dewevrei*, *C. liberica* var. *liberica*, *C. mauritana*, *C. stenophylla*, etc.

2.2 Anatomía del fruto

El fruto (conocido como café uva o cereza) es una drupa que por lo general, contiene dos semillas con una longitud de 10 a 17 mm. Su cubierta es roja o amarilla en algunas variedades.

A continuación se define la composición del fruto de café de afuera hacia adentro (Ramírez, 2011; Roa *et al.*, 1999; Monroig, 2005):

- **Epicarpio:** También llamada cáscara, pulpa, epidermis o exocarpio. Formada por una capa de células de paredes finas, en la cual hay numerosas estomas. Es de coloración verde cuando el fruto está inmaduro y de coloración roja o amarilla cuando madura. Tiene una consistencia jugosa y envuelve todas las demás partes del fruto.
- **Mesocarpio:** Mucílago de composición azucarada, consistencia gelatinosa y color cremoso. Forma una capa de entre 0.5 y 2 mm de espesor aproximadamente que recubre a los granos. Se compone de parénquima (rico en azúcares), taninos y sustancias colorantes.
- **Endocarpio:** También llamado pergamino o cascarilla. Cubierta coriácea de celulosa de color crema a marrón que envuelve a la semilla. Está formado por varios estratos de células de paredes gruesas y fibras amarillentas.
- **Espermoderma:** También llamado película plateada. Es el integumento seminal que envuelve a la semilla por debajo del pergamino, formada por una membrana delgada y fina.
- **Endospermo:** Es la semilla propiamente constituida también llamada almendra o grano de café, del cual se extrae la bebida. Tiene un surco o hendidura en el centro del lado plano por donde se unen las dos semillas. El grano tiene un extremo que termina en forma puntiaguda donde se encuentra el embrión.
- **Embrión:** Localizado en la superficie convexa de la semilla y representado por un hipocotilo y dos cotiledones.

2.3 Beneficio del café

Existen dos métodos por los cuales pueden ser procesados los frutos del café, el método seco y el método húmedo.

En el procedimiento seco, el fruto de café es secado natural o artificialmente y luego descascarado mecánicamente para separar el grano de la cascara seca, que está compuesta por la piel o exocarpio/pericarpio, pulpa o mesocarpio, mucílago y pergamino o endocarpio, junto con la piel plateada como sea posible.

Por el procedimiento húmedo, la fruta es despulpada, fermentada, lavada y secada. En el despulpado se remueve la piel externa (epicarpio) más parte del mucílago (mesocarpio) resultando en la denominada “pulpa de café”, que representa cerca del 40 % del peso del fruto fresco. El café seco obtenido por este método es conocido como café pergamino, porque el pergamino no ha sido removido. Luego del descascarillado del café seco se obtiene el pergamino. El proceso húmedo permite recolectar y usar por separado los subproductos (Braham y Bressani, 1979; Bekalo y Reinhardt, 2010; Murthy y Naidu, 2010; Esquivel y Jiménez, 2011; Mussatto *et al.*, 2011, Adams y Dougan, 1981). De este modo húmedo se somete al fruto del café a un proceso mecánico y biológico.

Cuadro 1: Distribución porcentual de las estructuras principales del café en cereza base seca.

Componente	Arábigo	Borbón	Mezcla
Pulpa	26.5	29.6	28.7
Cascarilla	10.0	11.2	11.9
Mucílago	13.7	7.5	4.9
Fruto de café	50.0	51.7	55.4

Fuente: Braham y Bressani, 1979.

2.4 Composición de la pulpa del café

La pulpa del café es la parte externa del fruto maduro del cafeto, de pigmentación roja o amarilla. Técnicamente, está constituida por el epicarpio y parte del mesocarpio del fruto. La pulpa fresca contiene mucha agua y cantidades variables de nutrimentos como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, azufre, hierro, manganeso y boro (Uribe-Henao y Salazar-Arias, 1983).

El despulpado de 1000 g de bayas de café producen 432 g de pulpa, lo cual en peso seco representa el 28.7 % del peso del fruto (Braham y Bressani, 1979). En comparaciones entre diferentes variedades, los porcentajes fueron similares,

obteniéndose en promedio para 1000 g de bayas de café un 29 % de peso seco de pulpa de café, un 12 % de cascara, 55 % de granos y aproximadamente un 4 % de mucílago.

Dentro de los componentes químicos que se pueden hallar en la pulpa del café hay cantidades relativamente altas de cafeína, polifenoles, carbohidratos y contenido de potasio (Bressani, 1979; Tauk, 1985). Ramirez-Martinez (1988) evaluó la composición de los compuestos fenólicos de la pulpa del café en 12 variedades sin hallar diferencias significativas. El principal compuesto fue el ácido clorogénico (ácido 5-cafeoilquinico) (42.2 %), seguido del epicatequín (21.6 %), ácido isoclorogénico I (5.7 %), ácido isoclorogénico II (19.3 %), ácido isoclorogénico III (4.4 %), catequín (2.2 %), rutín (2.1 %), ácido protocatecuico (1.6 %) y ácido felúrico (1.0 %).

Cuadro 2: Componentes orgánicos presentes en la pulpa del café

Componentes	% de peso seco
Carbohidratos	44 - 50
Proteínas	10 - 12
Azúcares reductores	12.4
Azúcares no reductores	2.0
Fibras	18 - 21
Grasas	2.5
Cafeína	1.3 - 1.3
Taninos	1.8 – 8.56
Polifenoles	1
Sustancias pécticas totales	6.5
Ácido clorogénico	2.6
Ácido caféico total	1.6

Fuente: Pandey *et al.*, 2000; Elías, citado por Umaña, 2014.

2.1 El proceso de compostaje y los indicadores de madurez

El compostaje se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios (Haug, 1993), que actúan de manera sucesiva sobre la materia orgánica original, en función de la influencia de determinados factores, produciendo elevadas temperaturas, reduciendo el volumen y el peso de los residuos y provocando su humificación y oscurecimiento

(Nakasaki *et al.*, 2005). El proceso de compostaje se puede definir como la descomposición biológica y aerobia de la materia orgánica en condiciones controladas de temperatura, humedad u aireación, seguida por una estabilización y maduración del producto (Iglesias, 1991).

En el compostaje de los residuos orgánicos se puede diferenciar una fase biooxidativa, donde predominan las reacciones enzimáticas degradativas de las moléculas orgánicas (en condiciones termófilas fundamentalmente) y una fase de maduración, con reacciones de condensación y polimerización semejantes al proceso de humificación en el medio natural. Con un óptimo control del proceso se puede obtener un producto orgánico cuya aplicación a los suelos de cultivo puede incrementar de forma notable su contenido de materia orgánica humificada. De este modo se considera importante la calidad de esta materia orgánica, entendida en términos de estabilidad biológica y de humificación. Estabilidad biológica para evitar los graves problemas en el sistema suelo-planta asociados a una rápida oxidación del material en el suelo y humificación, para incrementar la fertilidad natural (*sensu lato*) de los suelos de cultivo. Ambos parámetros determinan el concepto de madurez del compost.

Si bien suele entenderse la madurez de compost en términos prácticos como la estabilidad térmica, esto no implica una estabilidad biológica necesariamente. De un modo más científico se puede llegar a diferenciar entre grado de estabilidad biológica y grado de madurez. Actualmente la definición más aceptada de grado de madurez es sinónimo de ausencia de fitotoxicidad en el producto final, producida por determinados compuestos orgánicos fitotóxicos (amoníaco, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos hidrosolubles, etc.), que se forman durante la fase activa del compostaje (fase biooxidativa), sin embargo existen diversos parámetros que sirven como indicadores de madurez durante el proceso de compostaje, los cuales pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos.

Algunos parámetros que sirven como indicadores de madurez se describen a continuación, clasificándolos como indicadores físicos, indicadores químicos, indicadores basados en la materia orgánica humificada e indicadores de fitotoxicidad, los cuales en conjunto indican con mayor precisión y confiabilidad la madurez del compost.

2.1.1 Indicadores físicos

- **Temperatura**

La temperatura es considerada uno de los parámetros más importantes y como indicador directo de la actividad biológica del compostaje.

Durante el compostaje, la materia orgánica es metabolizada por microorganismos; estos utilizan diversos compuestos como azúcares, hidratos de carbono y proteínas de rápida asimilación transformándolos a formas más simples. Durante el proceso se libera calor producto de la metabolización de estos compuestos, ya que los microorganismos son exotérmicos (Silva *et al.*, s.f.), por lo que ocurre un aumento de la temperatura en la biomasa. Cada grupo de microorganismos tiene rangos óptimos de temperatura bajo los cuales realiza su actividad diferenciándose tres etapas o fases en las cuales las temperaturas alcanzan diferentes rangos por la descomposición aerobia: fase mesófila inicial ($T < 45\text{ }^{\circ}\text{C}$), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila ($T > 45\text{ }^{\circ}\text{C}$); y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se lleva a la temperatura inicial (Gordillo, 2010).

Las altas temperaturas son necesarias para lograr algunos efectos en el material, entre ellos está eliminar o disminuir las poblaciones de microorganismos patogénicos existentes, así como las larvas de moscas u otros insectos y romper la viabilidad de las semillas de malezas que puedan estar presentes. Esta etapa de temperaturas altas constituye la fase de pasteurización del compost y ocurre mayormente cuando la pila alcanza temperaturas de $55 - 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Thivierge y Seito, 2005).

- **Densidad aparente**

Se conoce como densidad aparente a la relación entre la masa y el volumen, estando relacionado con el contenido de humedad y el nivel de porosidad. La densidad aparente de un compost maduro es muy variable, pudiendo hallarse valores desde 400 hasta 700 g/l (Moreno y Moral, 2008; Gordillo y Chávez, 2010), dependiendo del material compostado. La densidad aparente aumenta durante el proceso de descomposición microbiana, debido a la reducción del tamaño de las partículas, por lo que no es muy recomendable compostar material muy fino y con alta densidad, ya que si bien esto produce una gran superficie de contacto para el ataque microbiano, también se reduce el espacio entre partículas y aumenta las fuerzas de fricción (Haug, 1993), limitando la difusión de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia

el exterior. De este modo puede producirse condiciones de anaerobiosis, exceso de humedad y compactación del material (Bueno *et al.*, 2008).

- **Contenido de humedad**

La humedad es uno de los factores principales para el proceso de descomposición, siendo un insumo requerido por la diversidad de microorganismos que conforman el proceso. Estos usan el agua como medio de transporte de nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular.

Se sabe que un porcentaje de humedad óptimo es de 55 % aproximadamente, reduciendo se la actividad microbiana si la humedad baja del 45 % y produciéndose anaerobiosis por saturación de poros si la humedad supera el 60 % (Román *et al.*, 2013). Sin embargo la humedad adecuada para cada etapa dependerá de la naturaleza, compactación y textura de los materiales de la pila. Así, materiales fibrosos y finos retienen mayor humedad y aumentan la superficie específica de contacto (Sztern *et al.*, 1995).

2.1.2 Indicadores químicos

- **pH**

El pH es un indicador directo del proceso de compostaje, el cual está relacionado con la actividad de los microorganismos, siendo comúnmente usado como un indicador de madurez.

Se considera que un compost maduro promedio debe tener un pH cercano a la neutralidad. Esto se explica debido a que en la primera etapa del compostaje (fase mesofila), el pH tiende a disminuir debido al metabolismo principalmente bacteriano que transforma los complejos carbonados fácilmente descomponibles en ácidos orgánicos (Negro *et al.*, 2000). Para la segunda fase (termófila) el pH tiende a aumentar, debido a la descomposición de ácidos orgánicos y a la liberación de amoníaco procedente de la descomposición de proteínas, el cual tiene efecto alcalinizante. En la tercera fase el pH tiende a la neutralidad, debido a que se da el proceso de humificación. En este caso los compuestos húmicos aportan un efecto tampón.

Durante este proceso, el pH debe mantenerse por encima de 7.5, como indicador de una buena descomposición (Gordillo, 2010).

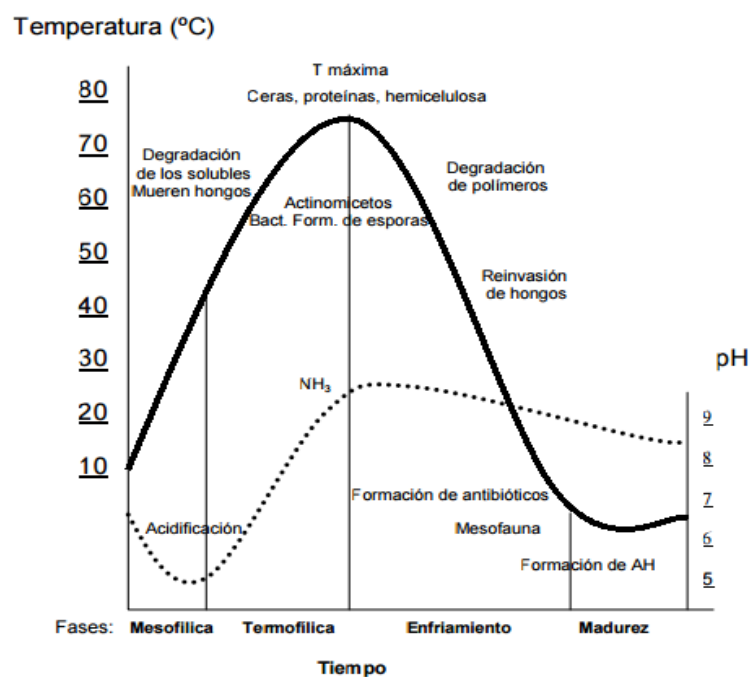


Figura 1: Evolución de la temperatura (-) y pH (...) durante las diferentes etapas del compostaje (Costa, 1991).

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es un buen indicador de la presencia de sales solubles en el compost. La conductividad eléctrica generalmente tiende a ser elevada en materiales compostados, pero una conductividad muy alta puede deberse a materiales contaminados, a riegos con aguas de mala calidad y/o excesivos riegos con lixiviados (Soliva y López, 2004). El exceso de sales puede afectar la calidad del compost afectando directamente la capacidad de germinación de las semillas y en el rendimiento del cultivo en general (Moreno y Moral, 2008).

- **Carbono orgánico total**

Se conoce al carbono orgánico total como la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico, el cual se mide por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la materia orgánica en condiciones especiales.

La materia orgánica del compost puede variar desde azúcares simples y carbohidratos hasta las más complejas proteínas, grasas, ceras y ácidos orgánicos. Importantes características de la materia orgánica incluyen: su capacidad para formar complejos solubles e insolubles al agua con iones metálicos y óxidos hidratados; interactuar con

arcillas minerales y unir partículas; sorber y desorber compuestos orgánicos; absorber y liberar nutrientes vegetales; y retener agua. Como resultado de estas características, la determinación del carbono orgánico total es parte esencial del estudio, ya que su presencia.

- **Relación C/N**

Dos compuestos que constituye comúnmente la materia orgánica son el carbono y el nitrógeno, considerándose a estos dos nutrientes como elementos esenciales para el metabolismo de la mayoría de organismos protagonistas del proceso de descomposición de la materia orgánica. La concentración de ambos en la materia orgánica se considera un indicador importante de calidad debido a que los microorganismos que descomponen la materia orgánica utilizan en gran medida ambos componentes como parte de su metabolismo. Como consecuencia se le considera como un indicador de madurez y estabilidad.

Durante el compostaje, el carbono es la fuente de energía utilizada por los microorganismos para la activación de sus procesos metabólicos. También es el material básico para la síntesis de material celular (proteínas), por lo tanto se considera importante mantener concentraciones adecuadas de estos dos nutrientes para que se lleve a cabo un proceso de degradación eficiente durante el compostaje. Las formas de carbono más fácilmente atacables por los microorganismos son los azúcares y las materias grasas, mientras que el nitrógeno se encuentra en casi su totalidad en forma orgánica, de donde debe ser extraído o modificado por los microorganismos para poder ser utilizado por éstos. Las dos terceras partes del carbono son transformadas en CO₂ y el restante entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos microorganismos para la producción de proteínas. Distintos autores recomiendan valores de relación C/N inicial de 20-35:1, ya que se considera que los microorganismos consumen unas 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno (Leal, 1981; Climent *et al.*, 1996). Del mismo modo para un compost ya maduro se consideran valores menores a 20 o preferiblemente menores a 15 (Miyashiro, 2014; López, 2010; Moreno y Moral, 2008).

Relaciones C/N muy altas, asociadas a altas cantidades de carbono, limitan la síntesis de material celular por parte de los microorganismos, disminuyendo su crecimiento y retardando el proceso de estabilización de la materia orgánica, reduciéndose así la velocidad de descomposición del material. Si por el contrario, el material es rico en

nitrógeno se puede presentar solubilidad y posterior pérdida de este compuesto en forma de amoníaco gaseoso, perdiéndose este nutriente de valor para la planta (Miyashiro, 2014; Sztern y Pravía, 1999). De este modo, la relación C/N al inicio del compostaje puede ser clave para la recuperación del nitrógeno. Soliva, citado por Barrena (2006), muestra la influencia de la relación C/N con el nitrógeno recuperado, hallando un aumento del porcentaje de nitrógeno recuperado al incrementar la relación C/N con algún material estructurante, como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Influencia de la relación C/N sobre la recuperación de nitrógeno.

C/N inicial	% de N recuperado respecto al N inicial
20	61.2
22	85.2
30	99.5
35	99.5

Fuente: Barrena, 2006.

2.1.3 Indicadores basados en la materia orgánica humificable

- **Relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos**

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos coloidales de alto peso molecular, de color oscuro, que contienen núcleos aromáticos más o menos esféricos, resultantes de la participación y condensación de compuestos fenólicos ligados entre sí por cadenas alifáticas (péptidos y polisacáridos) más o menos largas (Peña *et al.*, 2002).

El humus o sustancias húmicas resulta ser una sustancia muy beneficiosa para el suelo y la planta, ya que aporta estructura al suelo, retiene agua y aporta nutrientes a medida que se descompone. Se conoce como sustancias húmicas a los ácidos húmicos (fracción insoluble en agua a pH menor a dos pero soluble a pH mayores), ácidos fúlvicos (fracción soluble en agua a cualquier pH) y huminas (fracción insoluble a cualquier valor de pH).

La relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos fue utilizada por Kononova (1982) como un indicador de la calidad del humus (Janampa *et al.*, 2014).

2.1.4 Indicadores de fitotoxicidad

- **Índice de germinación**

Durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, se da una oxidación bioquímica, generando CO₂, H₂O, energía calórica y materia orgánica estabilizada o compost (INN, citado por Varnero *et al.*, 2007). El uso de este abono puede ser muy provechoso para la planta, sin embargo, si el grado de descomposición no es el adecuado, pueden quedar concentraciones peligrosas de ciertos metabolitos intermediarios que son perjudiciales para las raíces de las plantas (Zucconi *et al.*, citado por Varnero, 2007). Esta respuesta puede manifestarse en un acortamiento o destrucción parcial de las raíces, un descenso en el metabolismo de la planta, e incluso, afectar el crecimiento de la misma. Estos efectos perjudiciales para la planta pueden deberse a factores como el contenido de amonio, ácidos volátiles orgánicos, metales pesados y sales. Debido a esto es importante conocer el efecto de la naturaleza de la materia orgánica en el desarrollo radicular.

Con este fin se desarrolla el método de Zucconi para evaluar las propiedades fitotóxicas de compost maduros. Este método se basa en usar un extracto acuoso de los materiales orgánicos para evaluar la germinación y crecimiento de semillas de plantas de respuesta rápida, comparando estos valores con los obtenidos para un control con agua destilada, obteniendo así el porcentaje de germinación de las semillas y el porcentaje de elongación de las raíces, obteniendo como producto el índice de germinación.

El test de germinación o prueba de fitotoxicidad es la más utilizada para evaluar el grado de toxicidad que presenta un compost.

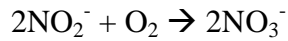
2.2 Pérdidas de nitrógeno

La mayor parte del nitrógeno que poseen los residuos orgánicos está unida a la fracción orgánica como parte de la estructura de proteínas y péptidos, de modo que generalmente su biodisponibilidad es baja (Amlinger *et al.*, 2003). Las transformaciones químicas que sufre el N durante el compostaje vienen dadas por reacciones de amonificación, nitrificación y desnitrificación. La concentración de las diferentes formas y su evolución dependen fundamentalmente de la naturaleza del material empleado, y de la velocidad de degradación de la materia orgánica (Sánchez-Monedero *et al.*, 2001). Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:

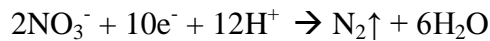
Amonificación:



Nitrificación:



Desnitrificación:



El primer paso en la mineralización del N consiste en la amonificación de los grupos R-NH₂ presentes en la materia orgánica. A continuación, el NH₃ formado puede seguir distintos procesos, dependiendo de las condiciones de la pila: puede ser disuelto como NH₄⁺, e inmovilizado por los microorganismos que lo utilizan como fuente de nitrógeno (de manera que nuevamente pasa a formar parte de la fracción orgánica); puede ser volatilizado a la atmósfera cuando el pH y la temperatura son elevados, y por último, puede ser transformado en nitrato cuando las condiciones de aireación son adecuadas y la temperatura está por debajo de 40 °C (Moreno y Moral, 2008).

Durante el compostaje normalmente aumenta la concentración de nutrientes debido a la disminución de la masa total. Sin embargo, la concentración de N sufre oscilaciones, así, en los compost finales se obtienen valores similares a los de las mezclas iniciales. No se observa un incremento de su concentración debido a que se producen pérdidas de este elemento durante el proceso (Ibíd.).

La utilización microbiana de los ácidos orgánicos, la proteólisis y la mineralización del nitrógeno durante el inicio de la fase termófila conducen a un incremento gradual del pH hasta alcanzar valores en torno a 8.5 este incremento favorece la formación del amoníaco y su pérdida por volatilización. Posteriormente los valores se estabilizan llegando cerca a la neutralidad. Cuando no se alcanza esta estabilidad, se considera un indicador de falta de madurez (Ibíd.).

Las temperaturas que se alcanzan en la fase mesófila y termófila, superiores a 40 °C, también favorecen el desprendimiento de amoníaco. También hay que controlar los volteos, ya que una aireación excesiva provoca la contaminación atmosférica no solo por el desprendimiento de los gases que producen malos olores sino también por la emisión de microorganismos y bioaerosoles (Ibíd.).

2.3 Enmiendas para la captura de nitrógeno

Según se conoce, los suelos arcillosos presentan una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), debido a la presencia de cargas negativas en la superficie de la partícula. Debido a esto es posible asumir que puede realizar la misma actividad sin formar parte de la solución suelo sino como insumo en el proceso de compostaje.

La zeolita es un mineral aluminosilicatado cristalino hidratado. Este mineral posee una estructura reticular formada por cavidades con dimensiones moleculares entre 3 y 10 Å. La microestructura porosa de la zeolita conduce a la adsorción de una variedad de elementos y el diámetro de los canales internos permite a la zeolita actuar como un tamiz (Mumpton, 1999). Turan y Ergun (2007) estudiaron la capacidad de la zeolita de capturar amonio al usarlo como insumo durante el compostaje de residuos sólidos municipales. Los resultados mostraron una alta eficiencia de captura a una dosis de 10 % de zeolita.

III. MATERIALES Y METODOS

3.8 Lugar

La fase experimental se realizó en el taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sustentable (CONSAS) del Departamento Académico de Suelos de la UNALM (latitud 12°05'01"S, longitud 76°56'55"W, altitud 238 m.s.n.m.). Los análisis físico-químicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF – UNALM).

3.9 Fuentes de materia orgánica

Las fuentes primarias de materia orgánica fueron la pulpa de café semidescompuesta y el recorte de césped como aporte de biomasa verde y fuente de carbono. También se empleó estiércol de conejo como fuente microbiana; y cenizas de leña como material encalante, siendo insumos secundarios para que el compostaje se diera en condiciones adecuadas y homogéneas, sin formar estos últimos insumos parte de las variables evaluadas.

La pulpa de café fue obtenida de cafetales de dos zonas productoras: Cajamarca y Villa Rica. La pulpa se almacenó en baldes de plástico de 75 litros. La pulpa de ambas procedencias fue analizada, encontrándose características químicas similares, por lo que fueron mezcladas y homogeneizadas. El estiércol de conejo fue obtenido del programa de animales menores de la UNALM. El recorte de césped fue obtenido como residuo del mantenimiento de las áreas verdes del campus universitario de la UNALM. Los análisis químicos de los diferentes insumos para el compostaje se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Análisis fisicoquímico de las fuentes orgánicas utilizadas para el compostaje.

Características	Pulpa de café	Estiércol de conejo	Recorte de césped
pH	4.33	7.42	6.75
C.E. (dS/m)	12.25	12.10	13.70
Hum. (% peso fresco)	77.89	56.09	52.65
M.O. (% peso seco)	79.97	59.52	77.11
N (%)	1.60	1.39	1.84
P ₂ O ₅ (%)	0.52	3.85	0.79
K ₂ O (%)	3.67	1.58	2.47
CaO (%)	0.65	4.53	1.88
MgO (%)	0.20	1.43	0.49
Na (%)	0.03	0.47	1.06
C org. (%)	46.4	34.4	44.5
C/N	29.08	24.73	24.19

3.10 Enmiendas fijadoras de amonio

Se utilizó un suelo de selva franco arcilloso (arcilla roja) procedente de la localidad de El Progreso, en la provincia de Moyobamba, departamento de San Martín para probar su capacidad en fijar nitrógeno. La segunda enmienda utilizada para probar su capacidad de fijar nitrógeno fue la zeolita, procedente de una tienda de fertilizantes en Moyobamba. Las propiedades químicas de ambas enmiendas se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Propiedades físico-químicas de zeolita y suelo franco arcilloso (arcilla roja) de selva.

Características	Arcilla roja	Zeolita
pH (1:1)	4.42	9.62
C.E. _{1:1} (dS/m)	0.02	0.92
CaCO ₃ (%)	0.00	10.60
M.O. (%)	0.24	0.10
P (mg/kg)	0.60	0.60
K (mg/kg)	48	1222
Arcilla (%)	29	13
CIC (meq/100g)	12.48	65.92
Ca ²⁺ (meq/100g)	1.33	27.90
Mg ²⁺ (meq/100g)	0.30	0.70
K ⁺ (meq/100g)	0.23	2.47
Na ⁺ (meq/100g)	0.10	4.89
Al ³⁺ + H ⁺ (meq/100g)	4.90	0.00
Suma de cationes	6.85	35.95
Suma de bases	1.95	35.95
PSB (%)	16	55

3.11 Tratamientos

Se evaluó el efecto de las enmiendas minerales arcilla y zeolita en el compostaje de pulpa de café a dos preparaciones de insumos principales, pulpa de café y mezcla de pulpa con recorte de césped en proporciones iguales, formándose seis tratamientos en total, como se observa en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Tratamientos utilizados para el diseño experimental.

Trat.	Nombre	Código	Enmiendas utilizadas	Insumos utilizadas
T1	Control Pulpa	CP	Ninguna	Pulpa de café
T2	Control Mezcla	CM	Ninguna	Pulpa de café + Recorte de césped
T3	Arcilla Pulpa	ArP	10 % Arcilla	Pulpa de café
T4	Arcilla Mezcla	ArM	10 % Arcilla	Pulpa de café + Recorte de césped
T5	Zeolita Pulpa	ZP	10 % Zeolita	Pulpa de café
T6	Zeolita Mezcla	ZM	10 % Zeolita	Pulpa de café + Recorte de césped

* Todos los tratamientos tuvieron tratamientos incluyeron la misma dosis de estiércol de conejo y cenizas como insumos secundarios.

Todas las pilas de compost fueron hechas en base a cinco kg de materia seca de los insumos principales.

La dosis de las enmiendas minerales fue el 10 % de la materia seca base, lo cual resultó en 0.5 kg.

En los tratamientos pulpa (CP, ArP y ZP) se compostó 5 kg de pulpa de café sola como insumo orgánico principal con 0.5 kg de estiércol de conejo y 0.17 kg de cenizas como insumos secundarios, mientras que en los tratamiento mezcla (CM, ArM y ZM) se compostó 2.5 kg de pulpa de café y 2.5 kg de recorte de césped como insumos orgánicos principales con 0.5 kg de estiércol de conejo y 0.17 kg de cenizas como insumos secundarios.

En el caso de los tratamientos con arcilla, se añadió ésta al 10 % del peso seco base, resultando en 0.5 kg. Del mismo modo sucedió con los tratamientos con zeolita, aplicándose al 10 % del peso seco base (0.5 kg).

Se empleó la metodología de micropilas para el compostaje (Kausar *et al.*, 2013; Campbell *et al.*, 1997; Ulloa *et al.*, 2003).

Los insumos utilizados en cada tratamiento y sus proporciones correspondientes son mencionados en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Dosis de insumos orgánicos y enmiendas minerales utilizadas en los tratamientos para medir el efecto de dos enmiendas en el compostaje de pulpa de café a dos mezclas.

N°	Código	Insumos (kg de masa seca/pila)						Relación C/N inicial
		Arcilla	Zeolita	Pulpa de café	Recorte de césped	Estiércol de conejo	Ceniza	
T1	CP	-	-	5	0	0.5	0.17	28.5
T2	CM	-	-	2.5	2.5	0.5	0.17	26.6
T3	ArP	0.5	-	5	0	0.5	0.17	28.5
T4	ArM	0.5	-	2.5	2.5	0.5	0.17	26.6
T5	ZP	-	0.5	5	0	0.5	0.17	28.5
T6	ZM	-	0.5	2.5	2.5	0.5	0.17	26.6

* Todos los tratamientos tuvieron tratamientos incluyeron la misma dosis de estiércol de conejo y cenizas como insumos secundarios.

3.12 Materiales y equipo

3.12.1 Fase de invernadero

- 24 contenedores de plástico
- Balanza electrónica
- Balanza mecánica
- 100 bolsas de polietileno
- Termómetro digital de varilla
- Herramientas para el volteo: dos lampas
- Balde de plástico para muestreo de densidad
- 100 recipientes de papel aluminio
- Libreta de campo, lápiz, lapicero, plumón indeleble, etiqueta, regla
- Cámara digital
- Aspersor a presión manual para el riego
- Tamices para selección del compost.

3.12.2 Fase de laboratorio

- Balanza analítica
- Estufa

- Potenciómetro
- Conductivímetro
- Vasos graduados
- Pipetas graduadas
- Tubos de centrifuga
- Centrífuga
- Plancha eléctrica
- Reactivos químicos
- Equipo de destilación Kjeldahl
- Placas Petri

3.13 Procedimiento

3.13.1 Preparación de residuos

- a) La pulpa de café y el estiércol de conejo, fueron mezclados y homogeneizados por separado, removiendo materiales extraños y desmenuzando los fragmentos gruesos.
- b) La paja de recorte de césped fue picada en fragmentos de 5 a 10 cm de longitud y homogeneizado.
- c) La humedad en los residuos fue determinada después de este procedimiento. Para ello se sacó una muestra y se pesó, luego se colocaron a estufa a 70 °C durante 24 horas en recipientes de aluminio y se volvieron a pesar. El porcentaje de humedad se determinó mediante la ecuación:

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{\text{PesoFresco (kg)} - \text{PesoSeco (kg)}}{\text{PesoSeco (kg)}} \times 100 \quad \dots\dots (1)$$

(Aguilera *et al.*, 2001)

- Las humedades determinadas en base a las cuales se trabajó los pesos frescos iniciales se presentan en el Cuadro 4.

Compostaje de residuos

- Los insumos fueron colocados en contenedores de plástico de capacidad de 75 litros. Cada contenedor fue llenado con 5.0 kg en peso seco de

todos los insumos, aplicados en forma de capas alternas de 10 cm de espesor aproximadamente.

- Las mezclas fueron incubadas por 124 días. Los volteos se realizaron a partir del día ocho del proceso haciéndose una vez por semana y a partir del día 29 dos veces por semana debido al aumento de agua por la destrucción de los materiales. Posteriormente a partir de la novena semana, los volteos se hicieron cada 15 días.
- Se realizaron tres riegos según el requerimiento a todos los tratamientos por igual para mantener la humedad aproximadamente constante en 40 - 50 % del peso total.



Figura 2: Experimento montado en las instalaciones del CONSAS en la UNALM.

3.13.2 Análisis inicial de los materiales

- El análisis de las fuentes orgánicas, la ceniza y los tejidos vegetales disponibles para el compostaje así como de las muestras intermedias y finales de compost maduro, se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF – UNALM).
- Los residuos orgánicos fueron pesados y secados a estufa a 70 °C hasta alcanzar peso constante durante aproximadamente 24 horas, para

determinar el contenido de humedad. La materia seca fue molida y homogenizada para el análisis químico. El pH de las muestras se determinó en una mezcla de materia orgánica y agua destilada en pasta saturada. La conductividad eléctrica se midió en el extracto líquido de la mezcla anterior. La materia orgánica fue determinada por digestión seca (calcinación a 450 °C por 12 horas). El carbono orgánico se determinó por digestión vía húmeda (método de Walkley y Black modificado). El nitrógeno fue determinado mediante el método de micro-Kjeldahl. Posteriormente, porciones de materia seca molida fueron sometidas a digestión vía húmeda empleando solución nitro-perclórica (Zasoski y Bureau, 1977). El fósforo fue determinado en el extracto anterior por colorimetría, empleando el reactivo amino-naftol-sulfónico. Los contenidos de potasio, calcio, magnesio y sodio fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica, en tanto que el azufre fue determinado por turbidimetría.

3.14 Parámetros evaluados:

Los parámetros evaluados para determinación de madurez del compost y variación de nutrientes en los compost preparados son descritos a continuación:

3.14.1 Temperatura

Las temperaturas fueron tomadas cada 1, 2 o 3 días desde el inicio del proceso a dos profundidades, 10 cm y 20 cm, utilizando un termómetro digital de varilla metálica de 20 cm de profundidad. También se registró la temperatura ambiental para compararla. A partir del día 27 del proceso se tomó temperaturas solo a 10 cm de profundidad debido a la reducción de la biomasa. A partir del día 42 se tomó temperaturas por periodos de tiempo más amplios debido a que la temperatura se consideró estable.

3.14.2 Densidad aparente

Se tomaron muestras de compost empleando un cilindro con volumen determinado. El compost fue pesado en fresco y posteriormente secado a estufa

a 70 °C por 24 - 48 horas para determinar el peso seco y posteriormente calcular la densidad aparente. La densidad aparente se calculó a los 0, 68 y 117 días después de la instalación y fue expresado en g/dm³.

3.14.3 Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad se tomaron muestras del material y se determinó el peso fresco y el peso seco a estufa durante 24 - 48 horas en balanza digital. Se determinó el porcentaje de humedad en los 0, 43, 67 y 130 días después de la instalación mediante la Fórmula 1 (ítem 3.13.1).

3.14.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se midió en base a una pasta de saturación con agua desionizada utilizando un conductivímetro digital. Los datos fueron tomados de las muestras de compost a los 0, 78 y 130 días después de la instalación. Las muestras tomadas para conductividad eléctrica fueron devueltas para mantener la masa de cada balde.

3.14.5 Ph

El pH fue medido de la misma pasta de saturación utilizada para la conductividad eléctrica, utilizando un potenciómetro digital. Los datos fueron tomados de las muestras de compost a los 0, 78 y 130 días después de la instalación, obteniéndose muestras aleatorias de cada tratamiento.

Adicionalmente se calculó la variación de pH para cada tratamiento, restando el valor de pH del día 130 con el del día 0 después de la instalación.

3.14.6 Nitrógeno total

La concentración de N en porcentaje de las muestras fue determinado por el método de micro-Kjeldahl modificado. Las determinaciones de nitrógeno fueron hechas en los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación.

Con los datos determinados de la concentración de nitrógeno, se procedió a determinar la masa de nitrógeno total en cada balde a partir del peso seco, mediante la siguiente ecuación:

$$\%N \times PS(g) = N_{total}(g/balde) \quad \dots\dots (2)$$

PS: Peso seco del contenido del balde.

N total: Cantidad de nitrógeno total por cada balde.

Posteriormente se procedió a calcular la masa total de nitrógeno recuperada respecto a la inicial, expresado en porcentaje según la siguiente fórmula:

$$\frac{N_{totalDíax}(\frac{g}{balde}) \times 100}{N_{totalDía0}} = N_{recuperado}(\%) \quad \dots\dots (3)$$

N_{totalDíax}: Masa de nitrógeno para el día 48, 68 o 130 después de la instalación.

N_{totalDía0}: Masa de nitrógeno para el día 0 después de la instalación.

3.14.7 Carbono orgánico total

La concentración de carbono orgánico en porcentaje fue determinada por digestión húmeda en los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación empleando el método de Walkley y Black modificado.

Con los datos determinados de la concentración de carbono orgánico, se procedió a determinar la masa de carbono total en cada balde a partir del peso seco, mediante la siguiente ecuación:

$$\%C \times PS(g) = C_{total}(g/balde) \quad \dots\dots (4)$$

PS: Peso seco del contenido del balde.

N total: Cantidad de carbono total por cada balde.

Posteriormente se procedió a calcular la masa total de carbono recuperada respecto a la inicial, expresado en porcentaje según la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{totalDíax}(\frac{g}{balde}) \times 100}{C_{totalDía0}} = C_{recuperado}(\%) \quad \dots\dots (5)$$

C_{totalDíax}: Masa de carbono para el día 48, 68 o 130 después de la instalación.

C_{totalDía0}: Masa de carbono para el día 0 después de la instalación.

3.14.8 Relación C/N

La relación carbono/nitrógeno fue calculada dividiendo el contenido de carbono orgánico sobre el contenido de nitrógeno. Se calculó para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación.



Figura 3: Secado de muestras a estufa para la determinación del porcentaje de humedad y contenido de nitrógeno en compost.

3.14.9 Sustancias húmicas

El contenido de sustancias húmicas en los compost (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas) fue evaluado por fraccionamiento mediante extracción alcalina y posterior acidulación mediante el método de Kononova (1996).

El resultado fue expresado como la relación de ácidos húmicos sobre ácidos fúlvicos (AH/AF).

3.14.10 Prueba biológica

Posterior a la cosecha del compost se procedió a realizar la prueba de germinación para la evaluación de su toxicidad. Se prepararon extractos líquidos en proporción 1:5 relación compost: agua destilada colocados dentro de tubetes, para luego centrifugarlo por 15 minutos a 3000 RPM y filtrar el

sobrenadante. Posteriormente se colocaron 10 semillas de rabanito (*Raphanus sativus* L.) en placas Petri con papel filtro grueso humedecido con dos ml de extracto de solución del compost. Se hizo un tratamiento control donde se humedeció con 2 ml de agua destilada. Luego se colocaron las semillas en incubadora por 48 horas a 25 °C y luego se procedió a evaluar la elongación de raíces y el índice de germinación según el método Zucconi adaptado. El resultado se expresó en porcentaje como índice de germinación.

3.15 Análisis estadístico

3.15.1 Diseño experimental

Los tratamientos fueron dispuestos en el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de dos factores, consistente en tres niveles de enmiendas minerales (ninguna, arcilla y zeolita) y dos niveles de preparación del compost (pulpa de café y pulpa de café + recorte de césped), determinando un total de seis tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, haciendo un total de 24 unidades experimentales.



Figura 4: Experimento montado y aleatorizado en las instalaciones de la UNALM.

3.15.2 Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos de parámetros físicos y químicos fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA) y la prueba de comparación múltiple HSD de Tukey fue empleada para la comparación de tratamientos. Los análisis fueron realizados empleando el software Minitab 17 (Minitab Statistical Software, 2010).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Indicadores físicos/sensoriales

4.1.1 Temperatura

La evolución temporal de las temperaturas promedio de cada tratamiento y la temperatura ambiental se muestra en la Figura 5.

Durante los primeros días, el material se mantuvo a temperatura ambiente. Al séptimo día, después de la aplicación de cenizas y del primer volteo las temperaturas empezaron a elevarse hasta alcanzar rangos de 50 °C, pasando por la etapa mesofílica y termofílica. Pasados los 15 días después de la instalación, la temperatura empezó a disminuir hasta nivelarse con la temperatura ambiental al día 71 después de la instalación.

Las temperaturas mantuvieron una tendencia similar en todos los tratamientos, sin embargo se observó que los tratamientos a base de pulpa de café como insumo orgánico principal (CP, ArP y ZP), alcanzaron temperaturas significativamente menores, los cuales también se mantuvieron bajas durante un periodo de tiempo mayor, esto se puede apreciar también en la Figura 5. Este efecto puede deberse a que estos tratamientos estuvieron compuesto en su mayor parte por la pulpa de café, el cual actúa como un insumo compactante. Se conoce que el compostaje es un proceso aerobio, por lo cual el calentamiento producto de la actividad microbológica será más eficiente mientras mejor sea la aireación. Debido a ello se considera la aireación como un factor importante que puede permitir una mayor eficiencia de la actividad microbológica, observándose indirectamente en un mayor calentamiento del material. Esto se corrobora al observar que el tratamiento que alcanzó menores temperaturas fue el Arcilla Pulpa (ArP), ya que estuvo compuesto por la enmienda y el insumo más compactante, es decir la arcilla y la pulpa de café. Del mismo modo, los tratamientos que alcanzaron mayor temperatura fueron el Control Mezcla (CM) y Zeolita Mezcla (ZM), ya que incluyeron el recorte de césped, el cual actuó como un material texturizante.

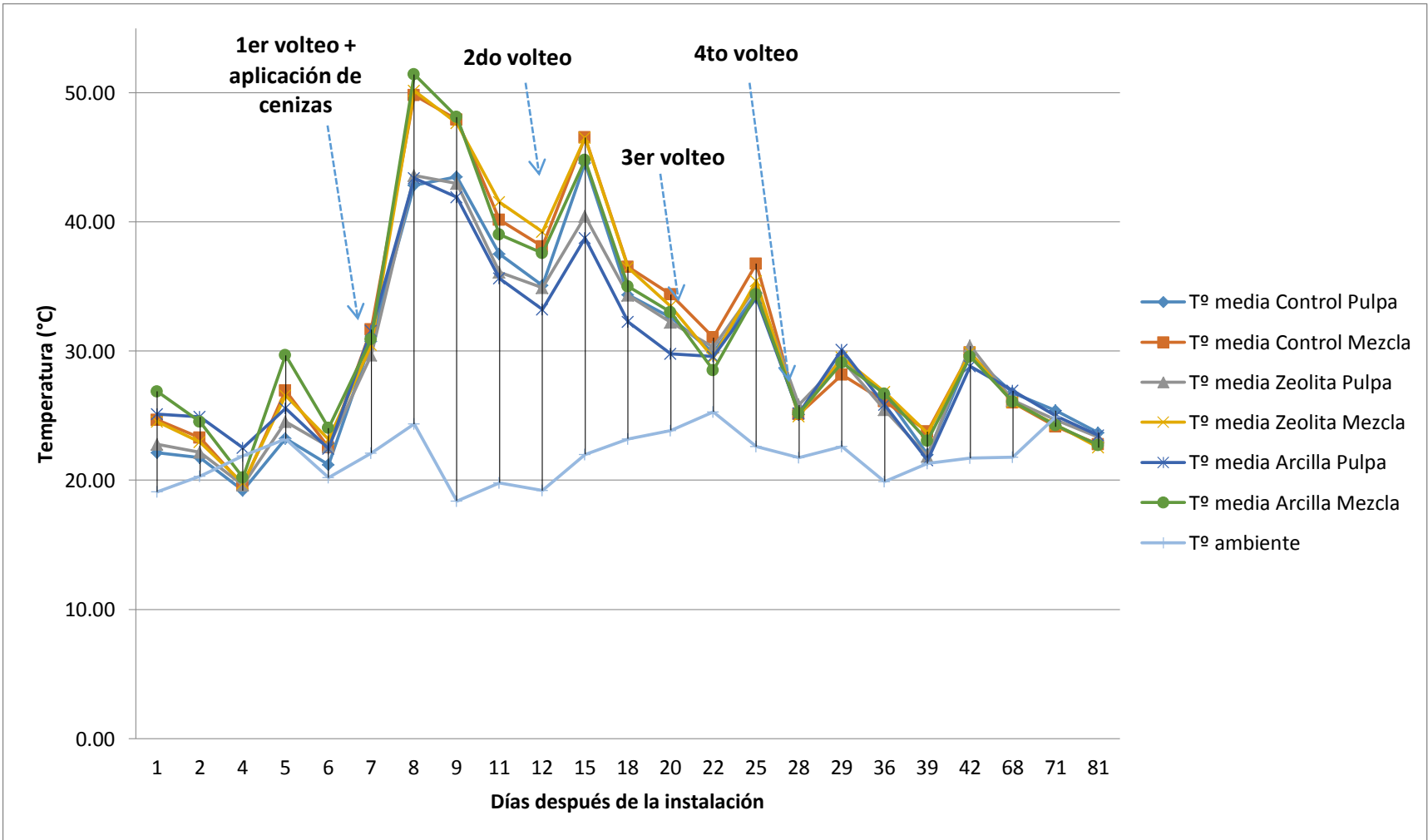


Figura 5: Variación temporal de la temperatura durante el proceso de compostaje de pulpa de café para los seis tratamientos.

Si bien el material no sobrepasó los 55 °C, Moreno y Moral (2008) indican que las temperaturas óptimas del proceso de compostaje se encuentran entre 45 y 59 °C y que los microorganismos tienden a degradar la materia orgánica de forma más eficiente cuando se encuentran en el límite superior de su rango de temperatura de crecimiento, siendo suficiente un límite de 60 °C para asegurar la muerte de patógenos tanto humanos como vegetales.

En la curva de variación de la temperatura se observan varias subidas y bajadas, esto se debió probablemente a la consistencia del material. Durante la descomposición de la pulpa de café esta adquiere una consistencia pastosa debido a su composición. Se sabe que la pulpa de café tiene un alto contenido de humedad y una composición rica en azúcares (Braham y Bressani, 1979); por esto, al ser el insumo principal, le da a toda la biomasa una consistencia densa y pastosa, lo cual dificulta la aireación de la parte interna, produciendo fermentación. Al haber pobre aireación empieza a disminuir la temperatura, elevándose en cada volteo y volviendo a bajar nuevamente conforme se vuelve a compactar. Ello explica las pequeñas y cuantiosas subidas y bajadas en las curvas de temperatura y puede observarse en la Figura 5 que después de cada volteo la temperatura tendía a elevarse.

No se observó diferencia significativa entre muchas de las temperaturas entre enmiendas (control, zeolita y arcilla), por lo que se asume que éstas no tuvieron mayor influencia, excepto por la arcilla, que tuvo relación con las temperaturas menores.

La variación temporal de la temperatura a 10 y a 20 cm de profundidad para los tratamientos con pulpa de café y mezcla con residuos verdes se observa en la Figura 6.

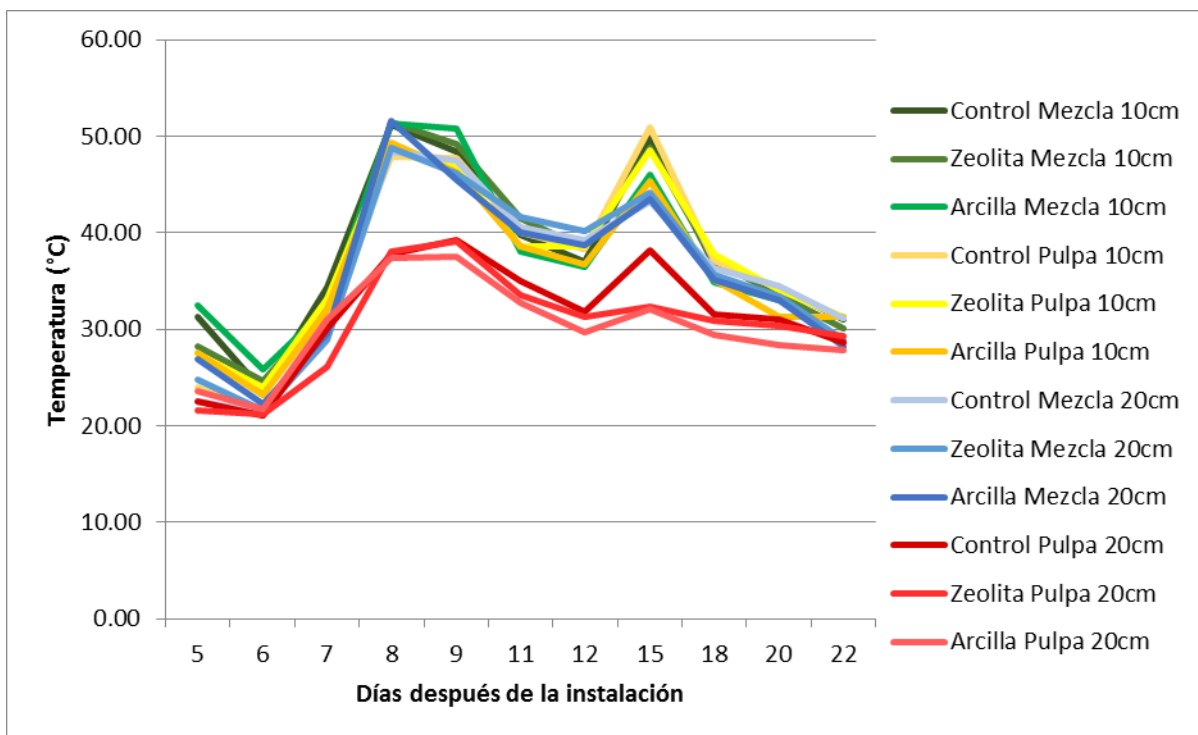


Figura 6: Variación temporal de la temperatura a dos profundidades (10 y 20 cm) durante el compostaje de pulpa de café para los seis tratamientos.

Las temperaturas a dos profundidades mostraron que los tratamientos Control Pulpa, Arcilla Pulpa y Zeolita Pulpa (CP, ArP y ZP) a 20 cm presentaron temperaturas significativamente menores que todos los demás tratamientos, siendo el tratamiento Arcilla Pulpa (ArP) el que menor temperatura alcanzó de todos. De diferente manera sucedió con los tratamientos Control Mezcla, Arcilla Mezcla y Zeolita Mezcla (CM, ArM y ZM), entre los cuales no hubo diferencia significativa.

La diferencia de temperaturas entre las dos profundidades debió darse probablemente por la consistencia del material en los tratamientos con pulpa sola como insumo principal (CP, ArP y ZP), la cual al dificultar la aireación en la parte más profunda, no permite un buen calentamiento por la actividad microbiana aeróbica. Por otro lado al encontrarse la capa superior (10 cm) más aireada, pudo alcanzar rangos de temperatura mayores.

En los tratamientos mezcla no se observó mayores diferencias a dos profundidades probablemente debido a que el recorte de césped presente en la mezcla proporcionó una mejor textura que propiciara una aireación más homogénea.

4.1.2 Densidad aparente

La variación de la densidad aparente durante el compostaje se muestra en la Figura 7.

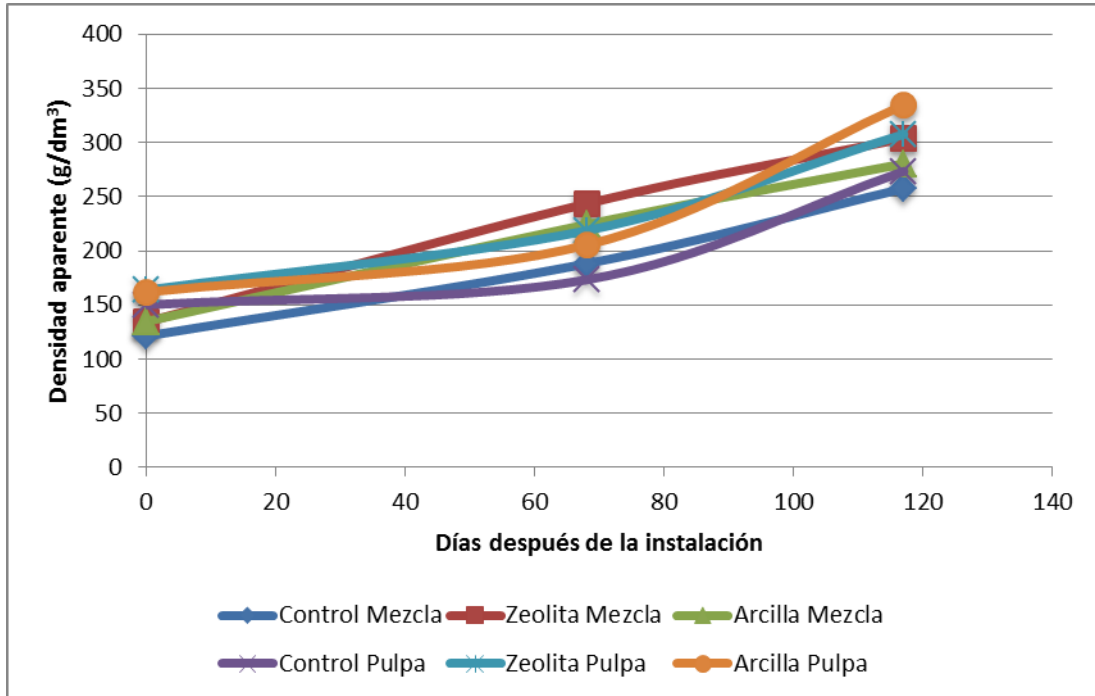


Figura 7: Variación temporal de la densidad aparente durante el proceso de compostaje a los 0, 68 y 117 días después de la instalación para los seis tratamientos.

La gráfica muestra un aumento significativo de las densidades a lo largo del proceso de compostaje. Las densidades finales oscilaron en valores entre 250 y 350 g/dm³, encontrándose la mayor densidad aparente en el tratamiento Arcilla Pulpa (ArP) con un valor de 334.8 g/dm³, mostrando diferencia significativa con los tratamientos Control Pulpa y Control Mezcla (CP y CM) los cuales mostraron valores de 273.4 y 257.5 respectivamente, siendo estas últimas las densidades más bajas.

Se sabe que la densidad aparente incrementa durante el compostaje como consecuencia de una mayor descomposición y una reducción del tamaño de partículas. Los compost generalmente presentan densidades aparentes de entre 400 y 700 g/dm³, viéndose afectado por factores como el contenido de humedad, la distribución y tamaño de partículas, el contenido de materia orgánica y su grado de

descomposición (Moreno y Moral, 2008). En la evaluación de este parámetro se observó este comportamiento de aumento de la densidad aparente, aunque el material no llegó a las densidades promedio de los compost según Moreno y Moral (2008). Sin embargo este parámetro no es determinante en el grado de descomposición de la materia orgánica ya que depende en gran medida del material inicial.

Los tratamientos control tuvieron las densidades más bajas debido a que en los demás tratamientos las enmiendas arcilla y zeolita al ser minerales y no descomponerse, aportaron mayor densidad al final del compostaje por un efecto acumulativo. Es por esto que el efecto de la densidad aportado por las enmiendas minerales no se considera benéfico, ya que no es indicador de la descomposición de la materia orgánica, reduciendo incluso la calidad del compost al aumentar su peso. Debido a esto, para un mejor análisis se realizó una comparación entre factores enmienda e insumo por separado de los compost maduros como se muestra en la Figura 8.

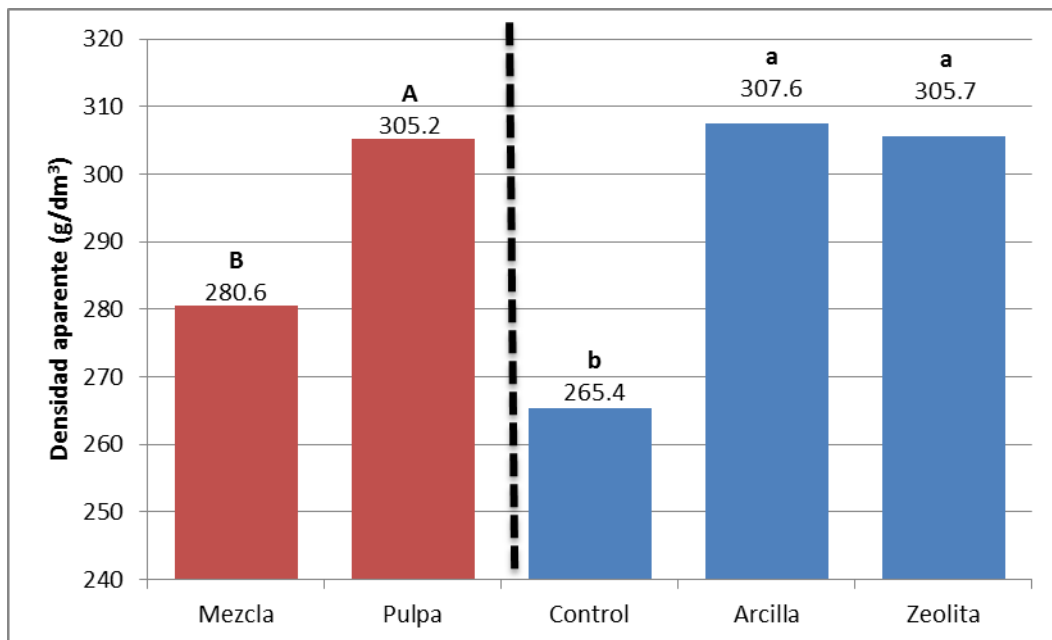


Figura 8: Efecto de la mezcla de insumos y de la aplicación de dos enmiendas minerales sobre la densidad aparente del compost determinada 117 días después de la instalación

Se realizó una prueba de comparación de Tukey para los factores insumo (Pulpa y Mezcla) a un intervalo de confianza del 95 %. La mayor densidad se observó para los tratamientos con pulpa sola como insumo principal con un promedio de 305.2 g/dm³ comparado con los tratamientos mezclados con recorte con un promedio de 280.6 g/dm³. Del mismo modo se compararon las enmiendas (Control, Arcilla y Zeolita), hallándose una mayor densidad para los tratamientos con arcilla y zeolita por encima del control.

En la comparación entre insumos se observó una mayor densidad en los tratamientos que incluyeron pulpa sola como insumo principal, debido a la mayor densidad que aporta la pulpa de café al compost a diferencia del recorte de césped, por lo cual se puede concluir que el compostaje de pulpa de café sola como insumo orgánico principal, resulta en un compost de mayor densidad aparente.

Cuadro 8: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la densidad aparente (g/dm³) a los 0, 68 y 117 días después de la instalación.

Tratamiento	Día 0	Día 68	Día 117
Enmienda mineral			
Ninguna	135.8 b	180.7 b	265.4 b
Zeolita	149.1 a	231.1 a	305.7 a
Arcilla	148.4 a	214.8 a	307.6 a
Insumo orgánico			
Pulpa	158.6 a	199.1 b	305.2 a
Mezcla	130.2 b	218.6 a	280.5 b
Enmienda	*	*	*
Insumo	*	*	*
Enmienda × Insumo	n.s.	n.s.	n.s
C.V. (%)	10.99	13.63	11.63

Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$), según la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

Por otro lado, al observar la comparación entre las enmiendas en el Cuadro 8, se corrobora que la arcilla y la zeolita aportan mayor densidad al compost en

comparación con el control. Esta mayor densidad no es por un mayor grado de descomposición, por lo que no se considera beneficiosa, siendo una fuente adicional de peso. Por ello se considera que el compostaje de pulpa de café sola como insumo orgánico principal, con adición de enmiendas aporta mayor densidad al compost final no necesariamente beneficiosa.

4.1.3 Contenido de humedad

El contenido de humedad de los compost preparados durante el proceso de evaluación se muestra en la Figura 9.

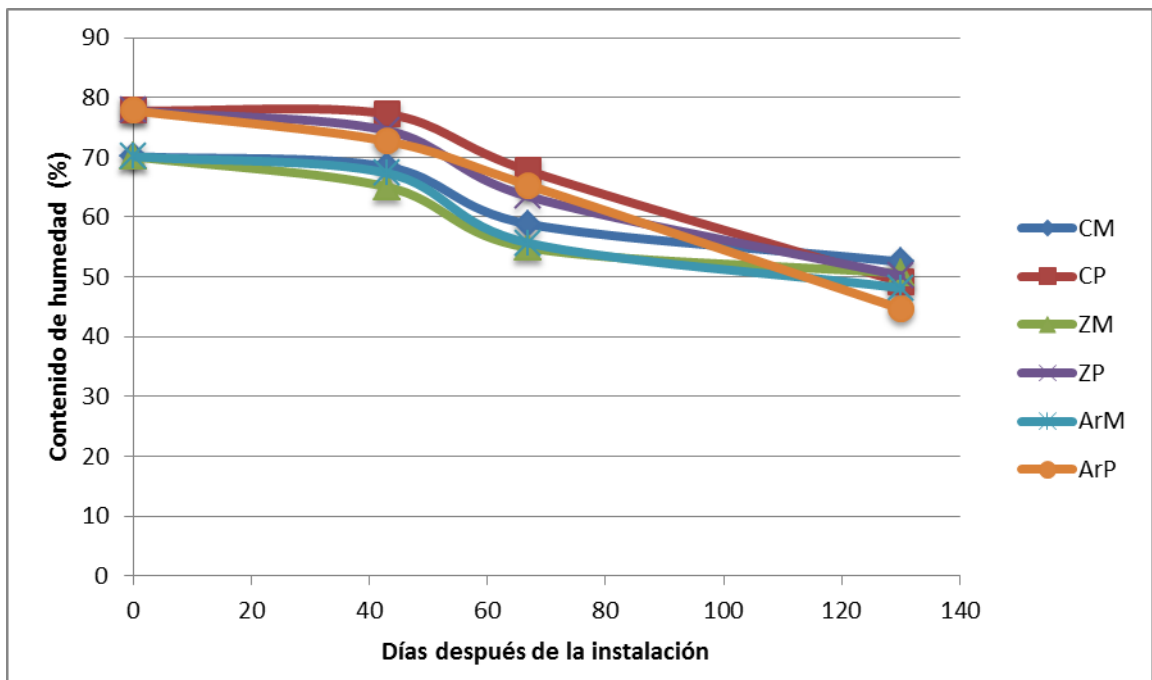


Figura 9: Variación temporal del contenido de humedad durante el proceso de compostaje a los 0, 43, 67 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.

El porcentaje de humedad de todos los tratamientos mostró una tendencia a disminuir en el tiempo. No hubo mayor aporte de los insumos ni de las enmiendas en el porcentaje de humedad final de los compost maduros, sin embargo hubo una tendencia durante el compostaje de los tratamientos con pulpa como insumo principal (CP, ArP y ZP) a presentar mayor porcentaje de humedad por encima de los tratamientos mezclados con recorte de césped como insumos principales (CM, ArM y ZM). Este comportamiento se explica por el alto contenido de humedad de

la pulpa de café (79.9 %), la cual propiciaba una textura pastosa y dificultaba la pérdida de humedad durante el proceso de compostaje. Esto representa una característica indeseable para el compostaje, ya que dificulta el manejo. Por otro lado, hubo una influencia de la zeolita a reducir la humedad, probablemente debido al mayor tamaño de partículas y a su gran capacidad de absorción de agua, lo cual podría haber mejorado su aireación.

La prueba de comparación de medias de Tukey del contenido de humedad para los factores enmienda e insumo en los 0, 43, 67 y 130 días después de la instalación se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre el contenido de humedad (%) a los 0, 43 y 67 y 130 días después de la instalación.

Tratamiento	Día 0	Día 43	Día 67	Día 130
Enmienda mineral				
Ninguna	74.0 a	72.8 a	63.3 a	50.8 a
Zeolita	74.0 a	69.8 b	59.2 b	50.4 a
Arcilla	74.0 a	70.0 ab	60.5 b	46.4 a
Insumo orgánico				
Pulpa	77.8 a	74.8 a	65.5 a	48.0 a
Mezcla	70.1 b	66.9 b	56.5 b	50.4 a
Enmienda	n.s.	*	*	*
Insumo	*	*	*	n.s.
Enmienda × Insumo	n.s.	n.s	n.s	n.s.
C.V. (%)	5.29	6.76	8.67	8.13

Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$), según la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

Según diferentes autores (Dalzell *et al.*, 1991; Moreno y Moral, 2008), contenidos de humedad por debajo del 40 – 45 % originan un descenso en la actividad microbiana, principalmente bacteriana, y las reacciones biológicas se retardan. Contrariamente, cuando el contenido de humedad es demasiado alto, llegando a valores mayores a 65 %, se ve afectada negativamente la disponibilidad de

oxígeno, debido a que los espacios porosos entre las partículas del material se saturan de agua, impidiendo el movimiento del aire dentro de la pila; de esta manera se puede llegar a condiciones de anaerobiosis y se puede producir un lavado de nutrientes por lixiviación. Se puede considerar un contenido de humedad óptimo a valores entre 45 - 65 %. De este modo durante el compostaje todos los tratamientos llegaron a presentar valores dentro del rango óptimo, manteniéndose cerca de 49 %.

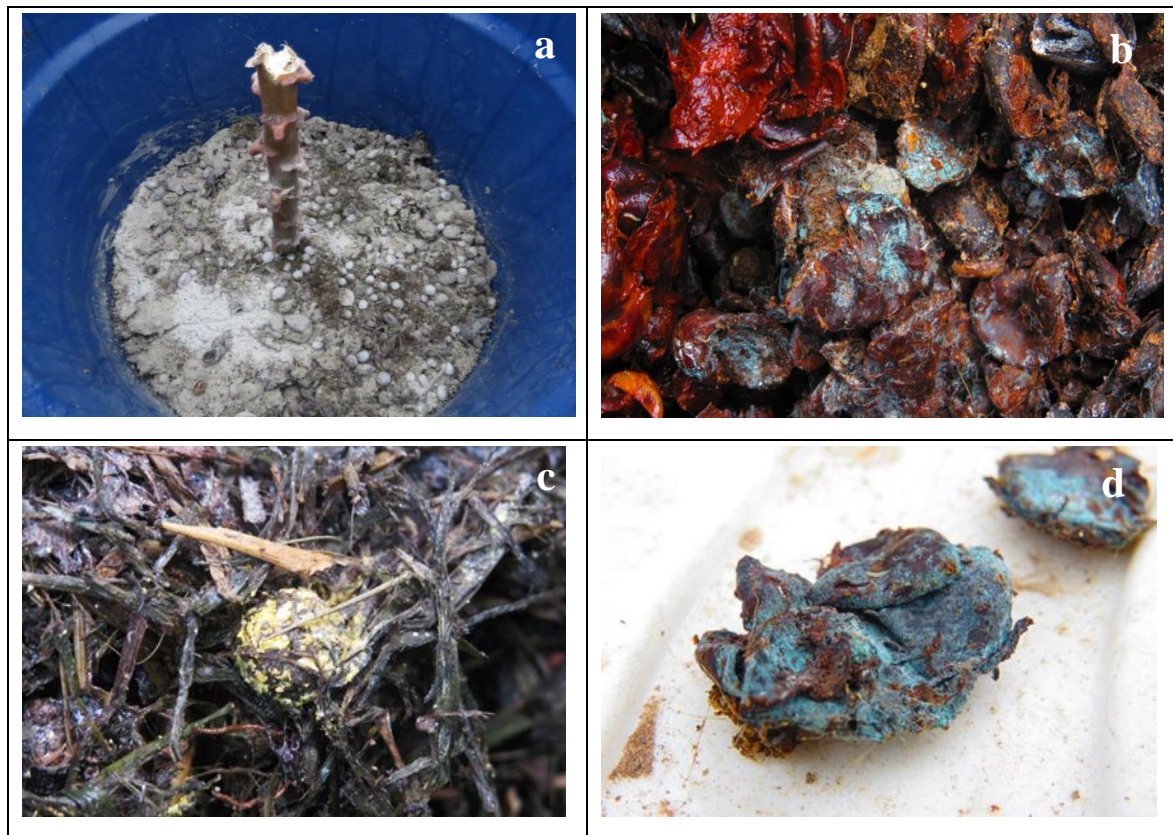


Figura 10: Colonias de diversos microorganismos observados al primer volteo en el interior del compost: a) Presencia de actinomicetos en pila del tratamiento ArM, b) Tratamiento CP de coloración rojiza y consistencia pastosa por exceso de humedad, c) Colonias de hongos amarillos, d) Colonias de hongos azules en la pulpa del café.

El único proceso de pérdida de humedad que se dio fue por volatilización, manteniéndose los compuestos no volátiles presentes en la fase sólida y líquida del material. Durante la fase inicial hasta el día 43 del proceso de compostaje aproximadamente, el proceso de respiración se dificultó en la parte más profunda de la pila debido al alto contenido de humedad, manifestándose en un ligero olor a

fermento y una coloración rojiza del material, sin embargo toda la parte superior del material presentó signos de alta actividad microbiana, observándose colonias de hongos, bacterias y actinomicetos (Figura 10 a, b). La formación de agregados de material de entre 5 y 20 cm de diámetro, dificultó la descomposición, ya que al centro de estos agregados la humedad era muy alta, y la respiración se dificultaba, por lo que se procedió a desmenuzarlos mecánicamente.

4.2 Indicadores químicos

4.2.1 Conductividad eléctrica

La variación de la conductividad eléctrica en el tiempo para todos los tratamientos se muestra en la Figura 11.

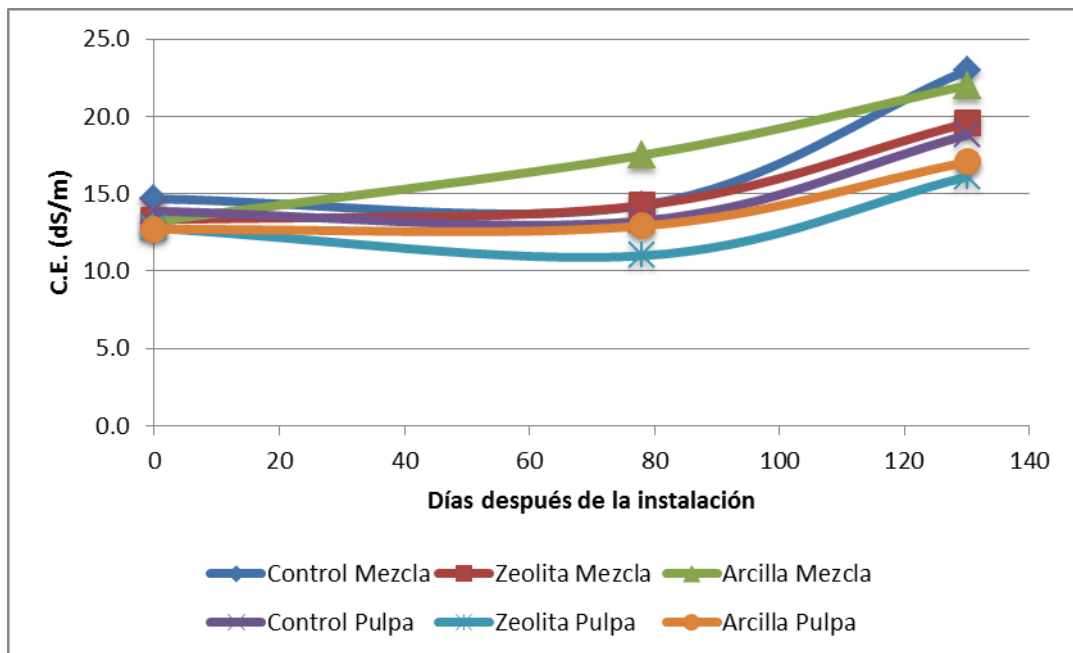


Figura 11: Variación temporal de la conductividad eléctrica en pasta de saturación durante el proceso de compostaje para los 0, 78 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.

La conductividad eléctrica se mantuvo sin cambios significativos desde el día 0 al día 78 del proceso, luego aumentó significativamente hasta el día 130. La conductividad eléctrica generalmente no presenta una tendencia definida, ya que depende en gran medida de la calidad de agua con la que se riegue el compost. En

este caso el material empezó con una conductividad alta aportada por el material empleado inicialmente (pulpa de café: 12.3 dS/m; recorte de césped: 13.7 dS/m; estiércol de conejo: 12.1 dS/m; cenizas: 64.2 dS/m), aumentando luego su conductividad eléctrica debido probablemente al aporte de sales con el agua de riego, ya que al realizarse el compostaje en un sistema cerrado sin pérdida de agua por lixiviación, no se produjo el lavado de sustancias solubles, por lo cual el efecto fue acumulativo en su totalidad. Como se observa en el Cuadro 10, la mayor conductividad eléctrica para el día 130 después de la instalación, se presentó en los tratamientos del factor Mezcla con un promedio general de 21.5 dS/m por encima de 17.3 dS/m de los tratamientos del factor Pulpa. Esto se debió probablemente al mayor aporte de sales del recorte de césped (13.7 dS/m) que de la pulpa de café (12.3 dS/m).

Cuadro 10: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la conductividad eléctrica de los compost cosechados a los 130 días después de la instalación.

Tratamiento	Conductividad eléctrica (dS/m)
Enmienda mineral	
Ninguna	20.9 a
Zeolita	17.8 c
Arcilla	19.5 b
Insumo orgánico	
Pulpa	17.3 b
Mezcla	21.5 a
Enmienda	*
Insumo	*
Enmienda × Insumo	n.s
C.V. (%)	13.43

Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$), según la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

Se observó un efecto directo de la enmienda Zeolita en la C.E., presentando valores menores que los tratamientos Control y Arcilla, los cuales fueron

significativamente similares entre sí. Esto indica una influencia de la zeolita en la presencia de compuestos que aportan a la conductividad eléctrica, probablemente debido su alta capacidad de intercambio catiónico y alta superficie efectiva para capturar iones, por lo que se considera que la zeolita aporta reduciendo la conductividad eléctrica mejorando la calidad química del compost.

4.2.2 pH

La evolución del pH en el tiempo para todos los tratamientos se muestra en la Figura 12.

El pH se incrementó en todos los casos, iniciando con un promedio de 5.5 en el momento de instalación. Al día 78 los valores de pH se vieron diferenciados entre insumos, siendo los de pulpa sola significativamente mayores que los mezclados con recorte de césped, manteniéndose así hasta el final del proceso. Para el día 130, los tratamientos de pulpa sola alcanzaron promedios de 10.3, mientras que los tratamientos mezclados con recorte de césped alcanzaron valores promedio de 9.6.

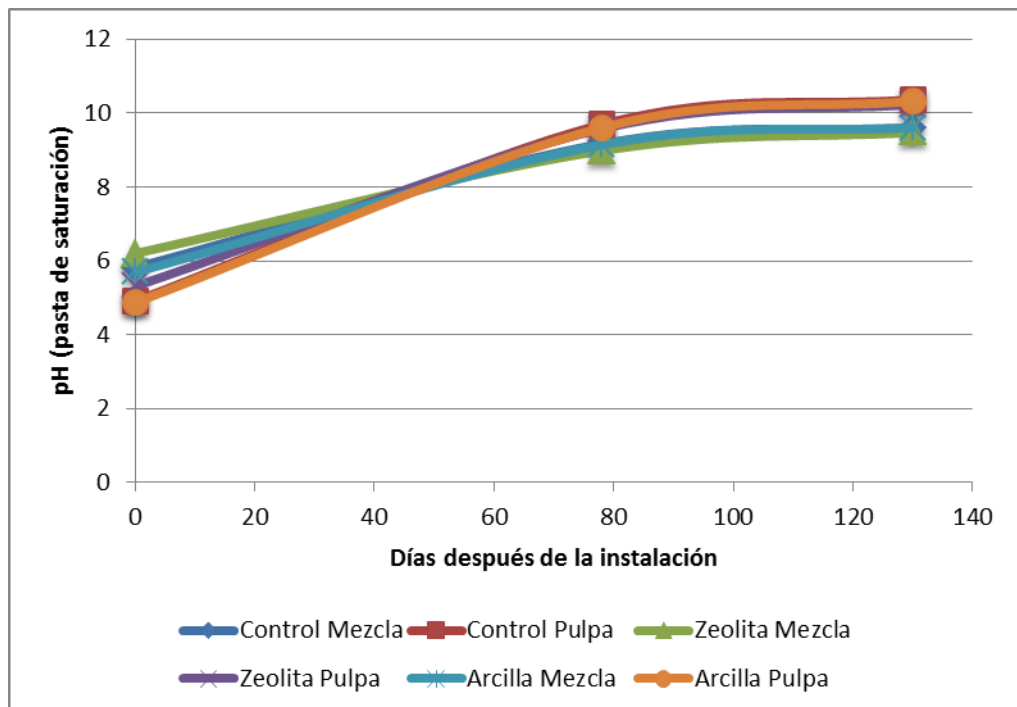


Figura 12: Variación temporal del pH en pasta de saturación durante el proceso de compostaje para los 0, 78 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.

En el presente trabajo, no se evidenció influencia de las enmiendas en el pH del compost. Se sabe que valores de pH menores a seis retardan inicialmente la actividad del compostaje, sin embargo esto no inhibe la actividad microbiana una vez iniciado el proceso (Mirabelli, 2008). La mayor acidez inicial de los tratamientos con pulpa sola como insumo principal se debe a las características de la composición de la pulpa, siendo un material comúnmente ácido (pH = 4.33). Esto retardó la actividad durante los primeros seis días después de la instalación, lo cual se corrobora con la temperatura que se elevó a partir del sexto día.

Cuadro 11: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre el pH a los 130 días después de la instalación y la variación del pH del día 0 al día 130 después de la instalación.

Tratamiento	pH (pasta saturada)			Δ pH
	Día 0	Día 78	Día 130	Día 0 - 130
Enmienda mineral				
Ninguna	5.4 b	9.4 a	10.0 a	4.6 a
Zeolita	5.8 a	9.3 a	9.9 b	4.1 b
Arcilla	5.3 c	9.4 a	10.0 ab	4.7 a
Insumo orgánico				
Pulpa	5.0 b	9.6 a	10.3 a	5.3 a
Mezcla	5.9 a	9.1 b	9.6 b	3.7 b
Enmienda	*	n.s.	*	*
Insumo	*	*	*	*
Enmienda \times Insumo	*	n.s.	n.s.	n.s.
C.V. (%)	9.04	3.40	3.98	19.56

Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$), según la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

Mohedo (2002) describe que en cuanto se inicia el compostaje comienza el desprendimiento de CO_2 , el cual al disolverse en el agua contenida en los poros del material, da lugar a la formación del tampón carbonato-bicarbonato estabilizándose el pH en torno a ocho unidades. Por otro lado, la oxidación del

nitrógeno orgánico da lugar a nitrógeno en forma de NH_3 produciéndose la reacción descrita por Moreno y Moral (2008):



Se sabe que la degradación de proteínas por los microorganismos es más rápida entre valores de pH 7-8, lo cual sucedió probablemente durante el primer mes del compostaje. El pH final en cada una de las mezclas del compost estuvo en valores entre 9.4 - 10.5, más elevados del rango recomendado (6.5 – 8.5 según Moreno y Moral, 2008), sin embargo no existen problemas en el compostaje por pH altos (Mirabelli, 2008). Según lo descrito por Moreno y Moral (2008), durante la amonificación, el amoniaco formado puede perderse de forma gaseosa si las temperaturas son elevadas, lo cual no sucedió. En la etapa termófila las temperaturas no llegaron a ser muy altas ni a mantenerse por mucho tiempo, por lo que es muy probable que el amoniaco formado al no perderse en forma gaseosa halla continuado transformándose a amonio para luego ser utilizado por los microorganismos o ser transformado a nitrato por el proceso de nitrificación.

Los tratamientos con valores de pH más cercanos al rango recomendado fueron Control Mezcla, Arcilla Mezcla y Zeolita Mezcla (CM, ArM y ZM).

La variación de pH durante el compostaje se muestra en la Figura 13.

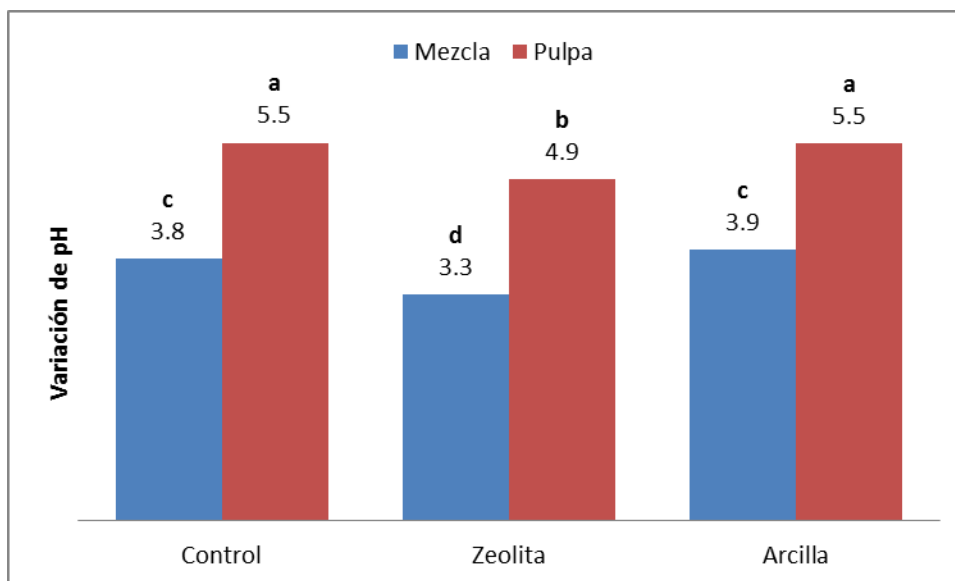


Figura 13: Valores de la variación de pH del día 0 al día 130 después de la instalación del compostaje de pulpa de café para los seis tratamiento.

Se calculó la variación de pH del día 0 al día 130 para los seis tratamientos. Se observó una influencia directa de la enmienda Zeolita produciendo menores variaciones de pH comparados con el Control y la Arcilla, lo cual se corrobora con los datos obtenidos en el Cuadro 11. No hubo diferencia significativa de la variación de pH entre los tratamientos con enmienda Arcilla y Control. También se observó una influencia directa de los tratamientos con pulpa sola como insumo principal sobre la variación de pH, mostrando mayores valores que los tratamientos con mezcla de insumos. Esto se puede corroborar con el Cuadro 11, donde para el factor insumo orgánico que Pulpa presenta un promedio de 5.3 y Mezcla de 3.7.

Se muestra un aumento significativo del pH a lo largo del proceso, lo cual concuerda con lo descrito por Moreno y Moral (2008), quien dice que en la primera etapa del compostaje se desarrolla un medio ácido por una inicial formación de ácidos orgánicos y a medida que el proceso avanza, el pH va aumentando gradualmente debido a la formación de bases amoniacaes procedentes de la mineralización de las proteínas, hasta alcanzar valores constantes que pueden oscilar entre 6.5 y 8.5. De esta manera, este incremento favorece la formación del amoniaco y su pérdida por volatilización. Por ello se puede decir que los tratamientos con menores aumentos de pH son menos propicios a perder

nitrógeno por volatilización, lo cual se observa en los tratamientos con mezcla, siendo el menor aumento del tratamiento ZM.

4.2.3 Contenido de nitrógeno

La evolución en el tiempo del contenido de nitrógeno en porcentaje para cada tratamiento es mostrada en la Figura 14. La evolución en el tiempo del contenido de nitrógeno en porcentaje muestra una clara tendencia al aumento del día 0 al día 48 para todos los tratamientos, con una última etapa de estabilización en la cual la concentración de nitrógeno no presenta cambios significativos en general hasta el final del proceso. Este aumento en la concentración puede deberse a la gran pérdida de biomasa inicial debido a la descomposición, lo cual condujo a un rápido aumento de la concentración del nitrógeno mas no en la cantidad total de nitrógeno. Este comportamiento es explicado por Moreno y Moral (2008), quien indica que durante el compostaje es normal que aumente la concentración de nutrientes debido a la disminución de la masa total, sin embargo con el nitrógeno ocurren leves oscilaciones, dándose pérdidas de nitrógeno durante el proceso, pudiendo obtenerse en los compost finales valores similares a los de las mezclas iniciales.

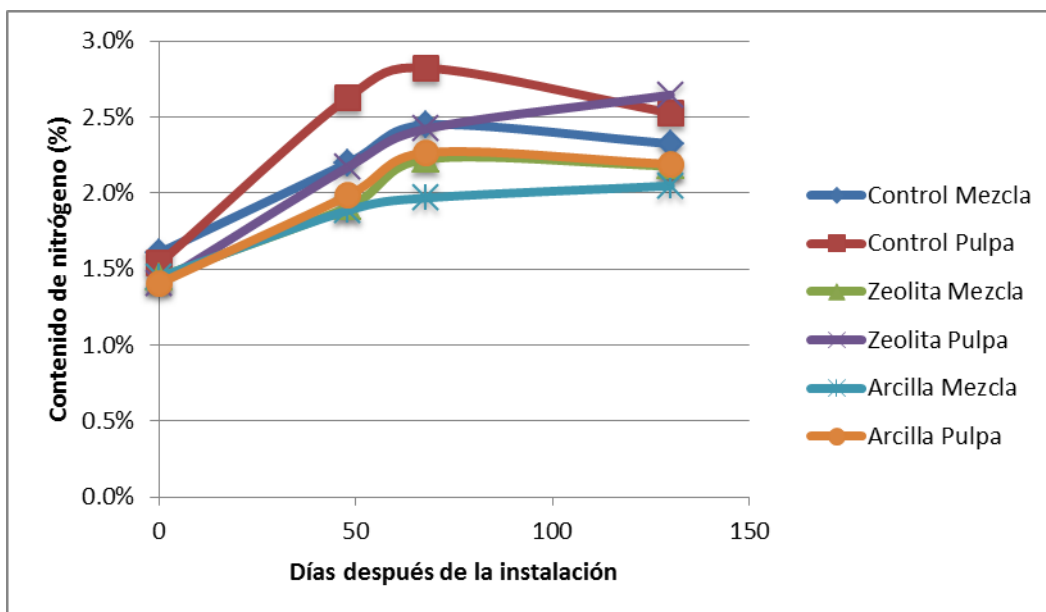


Figura 14: Variación temporal del contenido de nitrógeno durante el proceso de compostaje para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.

El tratamiento Control Pulpa mostró mayor concentración de nitrógeno durante la mayor parte del proceso de compostaje y en general se observó que los tratamientos pulpa son mayores que los tratamientos mezcla. Por otro lado, se observó que el promedio de los tratamientos control son mayores que las demás enmiendas (Arcilla y Zeolita) en concentración de nitrógeno para la mayoría de los días (Cuadro 12). Esto puede deberse a un efecto acumulativo en el muestreo, donde las muestras de los tratamientos que incluyen enmienda presentan el mineral no degradable, el cual mantiene su misma cantidad y va aumentando su concentración conforme se degrada la materia orgánica. Esto produce que al sacar una muestra, esta contenga más mineral y menos materia orgánica, el cual puede contener menos nitrógeno que la materia orgánica.

Cuadro 12: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la concentración de nitrógeno a los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación y el nitrógeno total recuperado respecto al inicial.

Tratamiento	Nitrógeno (%)				Nitrógeno Total Recuperado (%)
	Día 0	Día 48	Día 68	Día 130	
Enmienda mineral					
Ninguna	1.6 a	2.4 a	2.6 a	2.4 a	65.7 b
Zeolita	1.4 b	2.0 b	2.3 b	2.4 a	77.7 a
Arcilla	1.4 b	1.9 b	2.1 c	2.1 a	69.0 b
Insumo orgánico					
Pulpa	1.4 b	2.3 a	2.5 a	2.5 a	69.7 a
Mezcla	1.5 a	2.0 b	2.2 b	2.2 b	71.8 a
Enmienda	*	*	*	n.s.	*
Insumo	*	*	*	*	n.s.
Enmienda × Insumo	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
C.V. (%)	5.08	13.25	12.31	13.55	11.52

Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$), según la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

El nitrógeno recuperado en el tiempo respecto al nitrógeno inicial expresado en porcentaje es mostrado en la Figura 15, la cual muestra una disminución inicial significativa desde el día 0 al 48 y un aumento desde el día 48 al 68 para luego estabilizarse en el último periodo hasta el final del proceso.

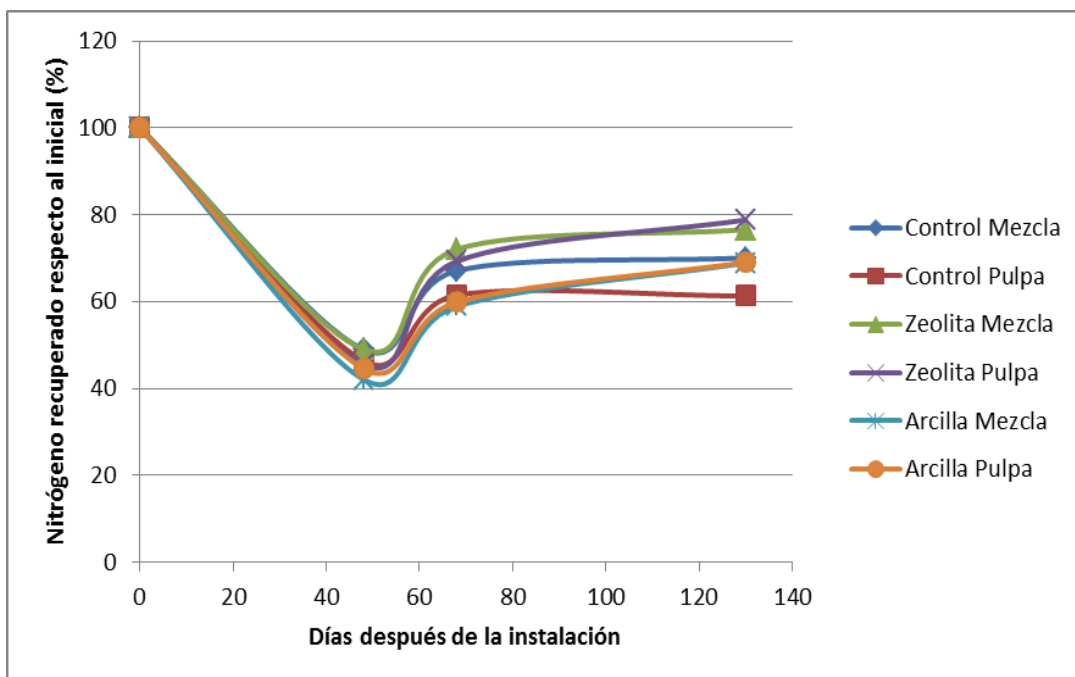


Figura 15: Variación temporal del porcentaje de nitrógeno total recuperado respecto al inicial durante el proceso de compostaje para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.

Al comparar la Figura 14 con la Figura 15 se puede observar en el día 48 un aumento en la concentración de nitrógeno y una gran pérdida de nitrógeno total al mismo tiempo. Esto revela que en ese periodo la pérdida de biomasa sucede mucho más rápido que la pérdida de nitrógeno, lo cual explica el aumento en la concentración de nitrógeno durante el proceso. Esto se corrobora al observar la pérdida significativa de carbono (Figura 18) durante el mismo periodo del día 0 al 48, donde la pérdida respecto al carbono inicial llega a ser del 73 % en promedio, mientras que en el nitrógeno (Figura 15) la pérdida llega a ser en promedio 54 % respecto al nitrógeno inicial.

El nitrógeno total recuperado respecto al inicial para el día 130 después de la instalación, se observa más a detalle en la Figura 16.

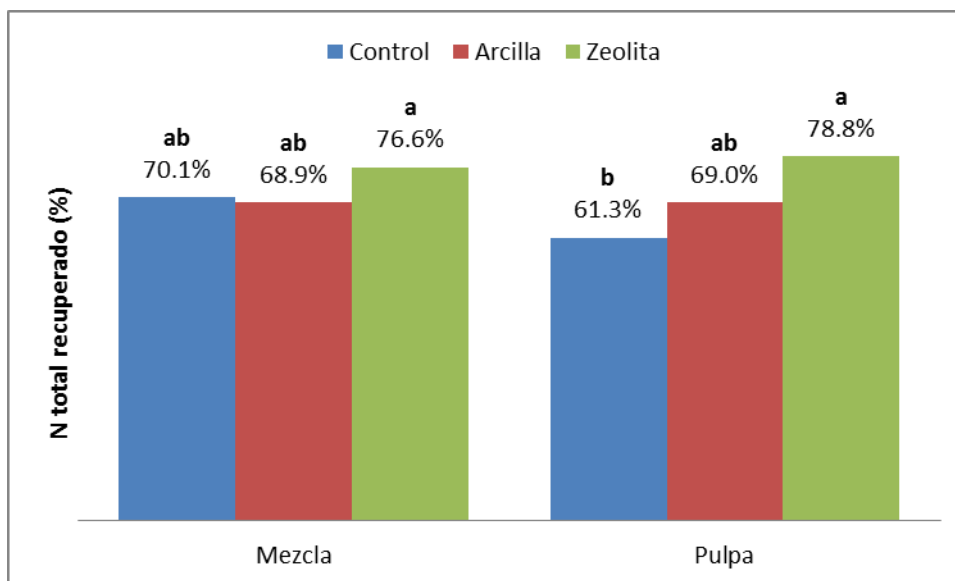


Figura 16: Valores del porcentaje de nitrógeno total recuperado de los compost obtenidos con respecto al inicial para los seis tratamientos.

Los tratamientos con el mayor porcentaje de nitrógeno total recuperado respecto al nitrógeno inicial fueron Zeolita Pulpa con 78.8 % y Zeolita Mezcla con 76.6 %, seguido de Control Mezcla, Arcilla Pulpa y Arcilla Mezcla con 70.1 %, 69.0 % y 68.9 % respectivamente. El tratamiento que menos nitrógeno conservó fue el CP con 61.3 %.

Según se observa en el Cuadro 12, el compostaje con zeolita permitió conservar más nitrógeno como se esperaba, siendo mayor que el Control y la Arcilla, sin embargo en un análisis más detallado en la Figura 16 se observa que la zeolita es significativamente mayor que el control para el compostaje de pulpa de café sola como insumo principal ($ZP > CP$), más no existe diferencia significativa para el compostaje de pulpa mezclada con recorte de césped ($ZM = CM$).

Por otro lado, en el Cuadro 12 se observa que los tratamientos Arcilla y Control mostraron valores muy similares en su capacidad de conservar nitrógeno sin diferencia significativa entre ambos. Esto se corrobora con la Figura 16, donde se observa que la arcilla no tiene diferencia significativa con el control para ninguno de los dos tipos de insumos orgánicos ($ArP = CP$ y $ArM = CM$), aunque el tratamiento Arcilla Pulpa mostró valores mayores que el tratamiento Control Pulpa, observándose una clara tendencia de la arcilla a conservar más nitrógeno en

el compostaje de pulpa de café sola como insumo orgánico principal, aunque esta diferencia no fue significativa.

Este comportamiento probablemente se deba a que al realizar una mezcla equilibrada entre pulpa de café y restos vegetales de hojas se obtenga una masa con buena textura y aireación que permita conservar hasta 70 % del nitrógeno inicial caso para el cual la adición de zeolita o arcilla no aporta a la recuperación del nitrógeno de manera considerable. Sin embargo al compostar solo pulpa de café, la textura de la masa que dificulta la aireación y por ende el proceso en sí, hace que requiera muchos volteos, y alarga el proceso, lo cual propicia la pérdida de nitrógeno durante el proceso, llegándose a conservar hasta un 61 % del nitrógeno inicial, caso en el cual la adición de zeolita si aporta a recuperar nitrógeno hasta en un 69 % y la arcilla podría llegar a aportar en la recuperación de nitrógeno (69 %) aunque en cantidades mínimas.

De este modo se corrobora que durante el compostaje de pulpa de café sola como insumo orgánico principal, la zeolita es la mejor enmienda para retener nitrógeno, mientras que la arcilla podría ayudar a recuperar una cantidad mínima. También se corrobora que al compostar pulpa de café con residuos vegetales en proporciones iguales, se puede obtener un compost de buena calidad que no requiera de enmiendas para capturar nitrógeno.

4.2.4 Contenido de carbono orgánico

La evolución temporal del carbono orgánico para todos los tratamientos se muestra en la Figura 17. El contenido de carbono orgánico en porcentaje se redujo significativamente del día 0 al día 48 y se mantuvo sin diferencia significativa del día 48 al día 68 para todos los tratamientos; posteriormente presentó una ligera disminución del día 68 al día 130 para casi todos los tratamientos.

No se observó diferencia significativa entre los tratamientos para el día 130. El carbono se redujo hasta el final del proceso debido a la reducción de la biomasa por descomposición microbiana, liberándose como dióxido de carbono. Esta reducción fue mayor en la primera etapa del día 0 al día 48, lo cual coincide con la etapa de mayor actividad biológica, es decir la etapa termófila.

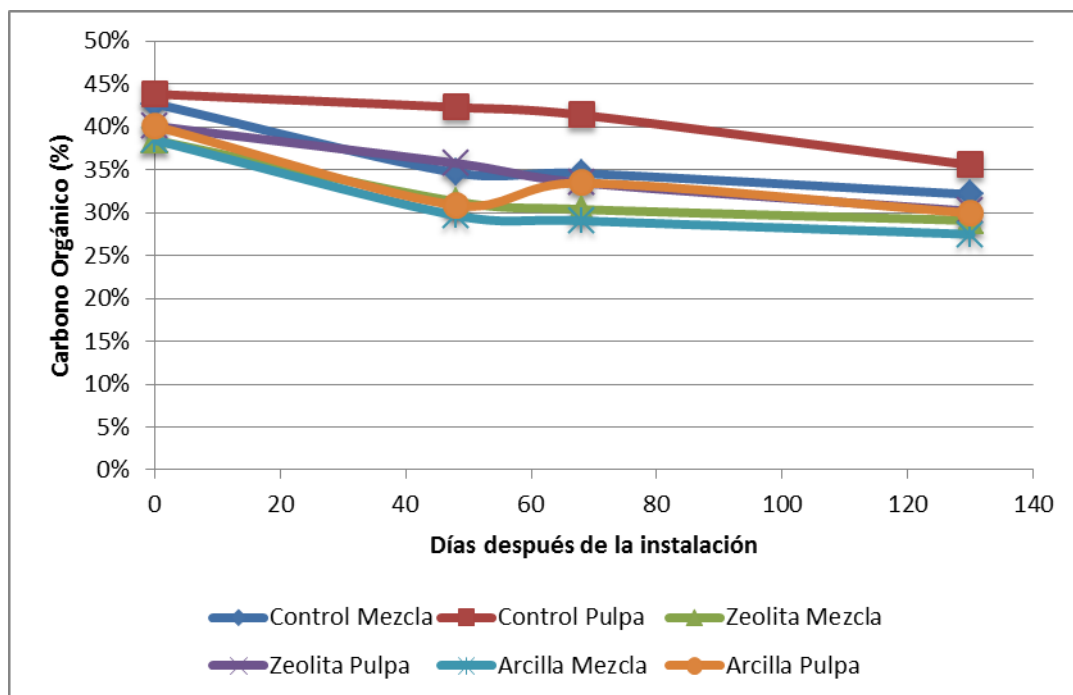


Figura 17: Variación temporal del contenido de carbono orgánico durante el proceso de compostaje para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.

Los tratamientos de mayor concentración de carbono (Cuadro 13) fueron el Control Pulpa (CP) con 35.6 % y el Control Mezcla (CM) con 32.1 % y el de menor concentración fue el tratamiento Arcilla Mezcla (ArM) con 27.5 %. Al final del proceso los tratamientos CP y CM se mostraron con mayor contenido de carbono probablemente debido al mismo efecto acumulativo al muestreo observado en el parámetro Nitrógeno, ya que los otros tratamientos tenían las enmiendas minerales, las cuales ocupaban masa en la muestra durante el análisis, pero no aportaban carbono, dando como resultado una lectura de carbono ligeramente menor a la realidad. Sin embargo la diferencia no fue significativa.

Si bien la concentración de carbono fue mayor para el Control Pulpa y menor para los tratamientos Zeolita Mezcla y Arcilla Mezcla, la conservación de carbono fue de modo inverso, siendo mayor el tratamiento Zeolita Mezcla y el menor Control Pulpa.

Cuadro 13: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la concentración de carbono y el carbono total recuperado de los compost maduros a los 130 días después de la instalación.

Tratamiento	Carbono (%)				Carbono total recuperado (%)
	Día 0	Día 48	Día 68	Día 130	
Enmienda mineral					
Ninguna	43.3 a	38.5 a	38.0 a	33.8 a	33.4 a
Zeolita	39.3 b	33.5 b	31.9 b	29.6 b	35.1 a
Arcilla	39.3 c	30.3 c	31.3 b	28.7 b	33.9 a
Insumo orgánico					
Pulpa	41.3 a	36.3 a	36.1 a	31.9 a	31.7 b
Mezcla	39.9 b	31.9 b	31.3 b	29.6 b	36.6 a
Enmienda	*	*	*	*	n.s.
Insumo	*	*	*	*	*
Enmienda × Insumo	*	*	*	n.s.	n.s.
C.V. (%)	5.08	13.29	12.55	11.69	11.90

Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$), según la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

El carbono recuperado en el tiempo respecto al carbono inicial se muestra en la Figura 18. Se puede apreciar una considerable pérdida de carbono en la primera fase del día 0 al día 48 para todos los tratamientos, coincidiendo con la gráfica de concentración de carbono, en la cual se llegó a perder en promedio hasta un 73 % del carbono inicial. Las pérdidas promedio desde el inicio hasta el final del proceso fueron de 66 % del carbono inicial.

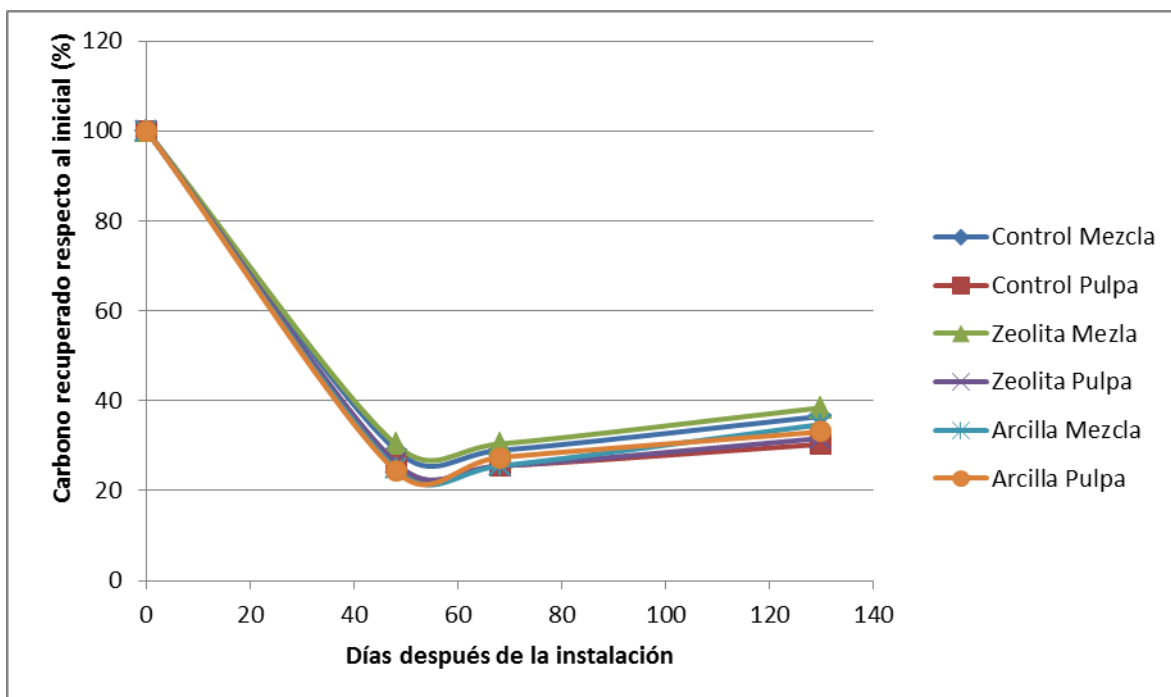


Figura 18: Variación temporal del porcentaje de carbono total recuperado a los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación con respecto al inicial en los seis tratamientos.

La cantidad de carbono recuperado fue en promedio 34 %, lo cual se corrobora con algunos autores (Miyashiro, 2014; Lopez, 2010, Moreno y Moral, 2008) quienes mencionan que las dos terceras partes del carbono inicial es perdido como dióxido de carbono, mientras que una tercera parte se queda como material estructural siempre y cuando el material inicial tenga suficiente nitrógeno para el metabolismo de los microorganismos, es decir una adecuada relación C/N.

Se conoce que el carbono orgánico se descompone en distintos tiempos dependiendo de su estructura, siendo algunos materiales más lábiles que otros. Este comportamiento se puede observar en el análisis de comparación entre factores (Cuadro 13), donde se muestra que los tratamientos con mezcla de pulpa y recorte de césped (36.6 %) tuvieron un porcentaje de carbono total recuperado estadísticamente mayor al de los tratamientos con pulpa sola como insumo principal (31.7 %). De este modo se puede decir que la conservación del carbono es mayor en el compostaje de pulpa de café cuando se mezcla con residuos vegetales verdes en partes iguales como insumos principales. Por otro lado, no hubo influencia de las enmiendas minerales en la recuperación del carbono.

4.2.5 Relación C/N

La variación en el tiempo de la relación C/N para todos los tratamientos durante el compostaje de la pulpa del café se muestra en la Figura 19.

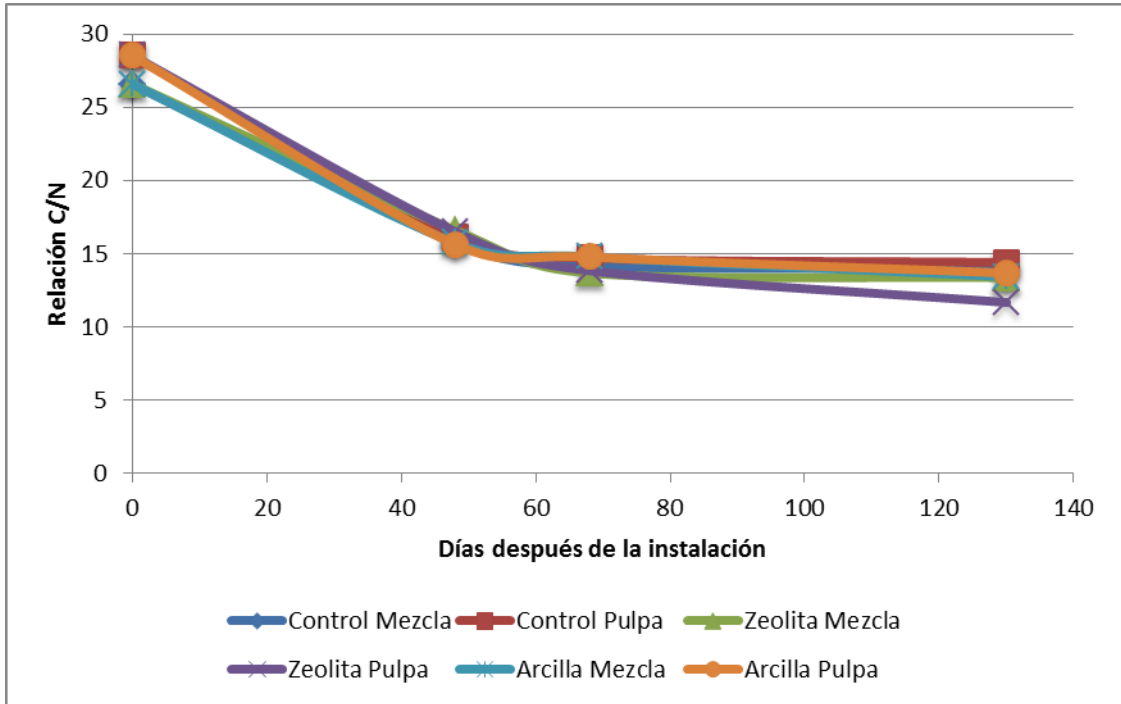


Figura 19: Variación temporal de la relación C/N durante el proceso de compostaje para los 0, 48, 68 y 130 días después de la instalación en los seis tratamientos.

Los valores de la relación C/N se redujeron significativamente del día 0 al día 48 y se mantuvieron sin mayores cambios hasta el final del proceso para casi todos los tratamientos. Los valores de la relación C/N entre los tratamientos no tuvieron diferencia significativa para los 48, 68 y 130 días después de la instalación. Los tratamientos no tuvieron mayor influencia en la relación C/N del compost final (Cuadro 14).

La relación C/N siempre tiende a reducirse durante el compostaje debido a una mayor reducción del carbono total que del nitrógeno de la materia orgánica. La relación C/N como indicador de madurez es relativa, ya que para materiales con carbono en formas resistentes como la lignina, la relación C/N puede llegar a valores superiores a 20, sin embargo a modo general una relación C/N de un compost maduro de buena calidad debe reducirse hasta valores menores a 20 y

preferiblemente menores a 15 (Moreno y Moral, 2008). Según esto, todos los compost llegaron a valores óptimos, sin diferencia entre sí, por lo que no hubo un tratamiento que produjera una relación C/N mejor que otro.

Cuadro 14: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la relación C/N, relación AH/AF y el índice de germinación de los compost cosechados a los 130 días después de la instalación.

Tratamiento	Relación C/N	Relación AH/AF	Índice de germinación (%)
Enmienda mineral			
Ninguna	14.2 a	1.5 a	81.5 a
Zeolita	12.5 a	1.3 a	96.6 a
Arcilla	13.6 a	1.2 a	78.7 a
Insumo orgánico			
Pulpa	13.2 a	1.3 a	82.0 a
Mezcla	13.6 a	1.4 a	89.3 a
Enmienda	n.s.	n.s.	n.s.
Insumo	n.s.	n.s.	n.s.
Enmienda × Insumo	n.s.	n.s.	n.s.
C.V. (%)	14.86	21.53	21.06

Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$), según la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

4.3 Indicadores basados en la materia orgánica humificada

4.2.6 Relación AH/AF

La comparación de las relaciones AH/AF entre tratamientos para los compost maduros se observa en la Figura 20.

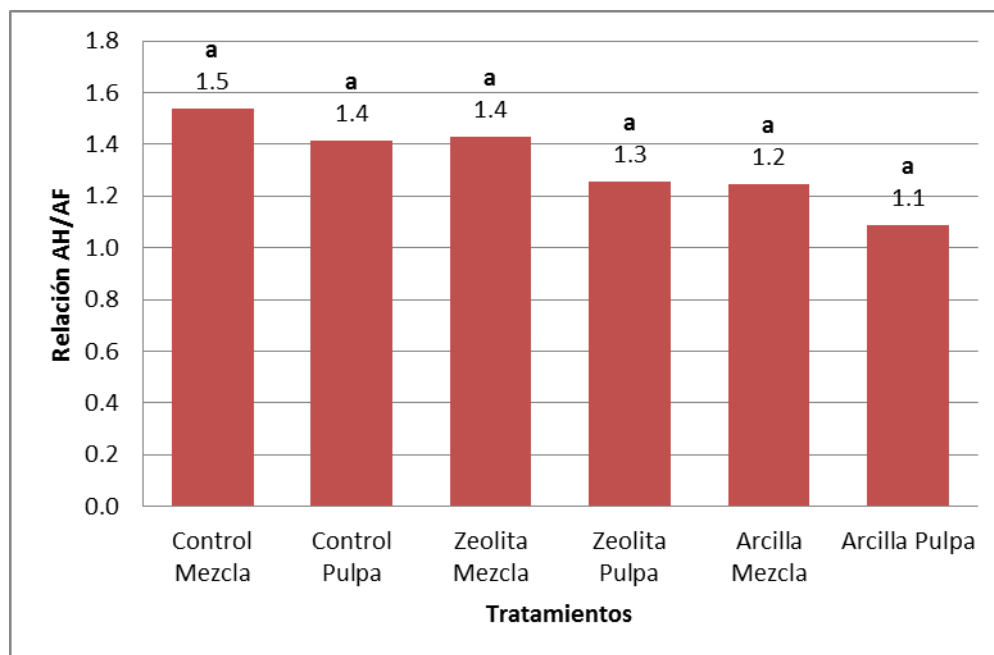


Figura 20: Valores del parámetro relación AH/AF de los compost cosechados para los seis tratamientos.

Los valores de la relación AH/AF para los tratamientos CM, ZM, ArM, CP, ZP y ArP fueron 1.5, 1.4, 1.3, 1.4, 1.3 y 1.1 respectivamente. No se observó diferencia significativa entre los valores de los tratamientos para los compost cosechados. Se observa de este modo que no hay influencia de los factores insumos orgánicos ni enmiendas minerales sobre la relación de AH/AF en el compost final (Cuadro 14). Iglesias y Pérez (1992) proponen un valor mínimo para la relación AH/AF de 1.9 para compost de residuos sólidos urbanos. Los valores obtenidos en los tratamientos son inferiores a 1.9 y si bien no hubo diferencia significativa entre ellos, se observa una tendencia de mayores valores para los tratamientos control y los menores para el Arcilla Pulpa (ArP). Los mayores valores para los tratamientos control puede deberse al mismo efecto observado en los parámetros Carbono Orgánico Total y Nitrógeno Total, ya que al muestrear, los tratamientos control presentaron mayor cantidad de materia orgánica humificada a diferencia de los tratamientos con enmiendas, los cuales presentaron una fracción de mineral sin huminas.

Aunque sin diferencia significativa, se puede observar también una tendencia de los tratamientos mezclados con recorte de césped a ser mayores que los de pulpa sola como insumo principal. Esto puede deberse al mejor grado de descomposición

del compost de pulpa mezclado con residuos vegetales verdes, lo cual es un indicador de mejor calidad del compost.

4.4 Indicadores de fitotoxicidad

4.2.7 Índice de germinación

El índice de germinación de los compost cosechados para todos los tratamientos se observa en la Figura 21.

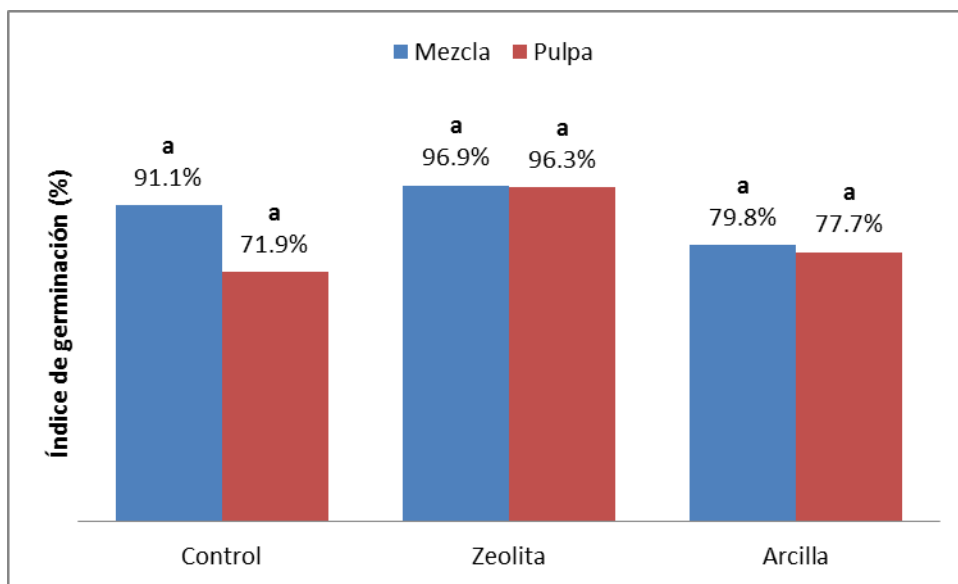


Figura 21: Valores del índice de germinación probado en el extracto de los compost cosechados para los seis tratamientos.

Los mayores valores fueron para los tratamientos Zeolita Mezcla y Zeolita Pulpa (96.9 % y 96.3 % respectivamente) y el menor valor fue para el tratamiento Control Pulpa con 71.9 % de índice de germinación, sin hallarse diferencia significativa entre ellos.

Según Zucconi (1981) y Emino y Warman (2004), los valores de índice de germinación menores a 50 % indican una alta fitotoxicidad del material, mientras que valores entre 50 % y 80 % indican una fitotoxicidad moderada y valores superiores al 80 % indican que el material no presenta fitotoxicidad. Basado en las medias obtenidas, los tratamientos con Zeolita Mezcla, Zeolita Pulpa y Control Mezcla mostraron índices de germinación mayores a 80 %, por lo que se podría

decir que se obtuvo un compost sin toxicidad y de buena calidad. Los tratamientos Control Pulpa, Arcilla Mezcla y Arcilla Pulpa mostraron un índice de germinación de entre 50 % y 80 %, por lo cual se consideran de toxicidad moderada.

Si bien no hubo influencia estadística de los factores evaluados (Cuadro 14), se observa un claro comportamiento de los tratamientos con zeolita (ZM y ZP) de presentar los mayores valores, casi sin diferencia entre ambos. Este comportamiento denota la ausencia de toxicidad de aquellos compost, lo cual puede deberse a la propiedad de la zeolita, la cual al ser de estructura porosa y de alta superficie efectiva, puede retener compuestos potencialmente tóxicos para la semilla y/o plántula, permitiendo que esta continúe su desarrollo sin mayor problema. Algo similar sucede con los tratamientos Control Mezcla y Arcilla Mezcla, los cuales presentaron valores cercanos al límite, particularmente el tratamiento Arcilla Mezcla llegó a 79.8 % en promedio. Esto puede deberse a la consistencia y textura de la masa, la cual al tener mejor textura y aireación llega a descomponerse más efectivamente, por lo que los compuestos potencialmente tóxicos se reducen en mayor proporción. Esto no sucede con los tratamientos Control Pulpa y Arcilla Pulpa, los cuales se encuentra en una clasificación de toxicidad moderada al encontrarse en valores inferiores a 80 %, probablemente por su menor calidad del compost cosechado debido a un menor grado de descomposición dado por la falta de condiciones de aireación y humedad adecuadas, lo cual concuerda con los datos de temperatura y contenido de humedad, donde se muestran que estos dos tratamientos (CP y ArP) fueron unos de los que alcanzaron menor temperatura y mayor contenido de humedad.

Según los resultados obtenidos se puede decir que la zeolita tiende a reducir la toxicidad del compost observándose en un mayor índice de germinación, así como la mezcla de pulpa de café con recorte de césped como insumos principales aporta en la misma manera.

V. CONCLUSIONES

- La mezcla de la pulpa de café con residuos vegetales en partes iguales, proporciona buenas condiciones de humedad, densidad aparente y temperatura durante el compostaje.
- La mezcla de pulpa de café con residuos vegetales en partes iguales, proporciona condiciones favorables de pH que propician una menor pérdida de nitrógeno.
- La mezcla de pulpa de café con residuos vegetales en partes iguales, tiende a formar un compost de mayor calidad de materia orgánica humificada y con mayor captura de carbono.
- La adición de zeolita al 10 % en el compostaje de pulpa de café ayuda a recuperar nitrógeno. La arcilla de selva no incrementa la recuperación del nitrógeno.
- La aplicación de zeolita al 10 % en el compostaje de pulpa de café tiende a reducir la toxicidad del compost, al igual que la mezcla con residuos vegetales.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar zeolita al 10 % en el compostaje de pulpa de café sola como insumo orgánico principal para una mayor captura de nitrógeno.
- Se recomienda compostar pulpa de café mezclada con residuos vegetales verdes para obtener mejores características durante el compostaje y una mejor calidad de compost cosechado.
- Se recomienda en una futura investigación utilizar pilas de compostaje de sistema abierto y mayor tamaño con recolección de los lixiviados.
- Se recomienda en una futura investigación, tomar más medidas de las variables evaluadas.
- Se recomienda en una próxima investigación evaluar el uso de diferentes tipos de arcillas a diferentes dosis, ya que resulta una opción rentable para la reducción de pérdidas de nitrógeno durante el compostaje.
- Se recomienda para una futura investigación evaluar la aplicación de biochar, comparando el efecto en la captura de nitrógeno y la retención de fósforo.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Adams, M.R.; Dougan, J. 1981. Biological management of coffee pulp. *Tropical Science* 23:178-196.
- Aguilera. M.; Vélez. B. 2001. Aproximación al estudio del efecto de la cobertura vegetal sobre los grupos bacterianos proteolíticos y celulolíticos en el departamento del Quindío. Tesis de pregrado en Microbiología Agrícola y Veterinaria. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología Bogotá. Pág. 41.
- Alvarado, M.; Rojas, G. 2007. El cultivo y beneficiado del café. Euned. San Jose-Costa Rica. 184 p.
- Amlinger, F.; Gotz, B.; Dreher, P.; Getszti, J.; Weissteiner, C. 2003. Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilization and availability – a review. *European Journal of Soil Biology* 39(3):107-116.
- Barrena G., R. 2006. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Tesis Dr. Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona. 300 p.
- Bekalo, S.A.; Reinhardt, H.W. 2010. Fiber of coffee husk and hull for the production of particleboard. *Materials and Structures* 43(2010): 1049 – 1060.
- Bernal, M.P.; Lopez-Real, J.M. 1993. Natural zeolites and sepiolite as ammonium and ammonia adsorbent materials. *Bioresource Technology* 43: 27-33.
- Bernal, M.P.; Lopez-Real, J.M.; Scott, K.M. 1993. Application of natural zeolites for the reduction of ammonia emissions during the composting of organic wastes in a laboratory composting simulator. *Bioresource Technology* 43: 35-39.
- Braham, J.E.; Bressani, R. 1979. Coffee Pulp. Composition, technology and utilization. IDRC-108e. International Development Research Centre (IDRC). Ottawa, Canadá.

- Bueno M., P.; Díaz B., M.J.; Cabrera C., F. 2008. Factores que afectan el proceso de compostaje (En línea). Digital CSIC. Consultado 28 oct. 2016. Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf> Calzada, J.F.; De Porres, E.; Yurrita, A.; De Arriola, M.C.; De Micheo, F.; Rolz, C.; Menchú, J.F. 1984. Biogas Production from Coffee Pulp Juice: One- and Two-Phase Systems. *Agricultural Wastes* 9: 217-230.
- Campbell Jr., A.G.; Folk, R.L.; Tripepi, R.R. 1997. Wood ash as an amendment in municipal sludge and yard waste composting processes. *Compost Science & Utilization* (5)1: 62-73.
- Climent, M.M.D.; Abad B., M.M.; Aragon, R.P. 1996. El compost de residuos sólidos urbanos (RSU). Sus características y aprovechamiento en agricultura. Editado por ediciones y promociones LAV. Valencia. 187 p.
- Eklind, Y.; Kirchmann, H. 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments II: nitrogen turnover and losses. *Bioresource Technology* 74: 125-133.
- Emino, E.R.; Warman, P.R. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Science & Utilization* 12: 342-348.
- Esquivel, P.; Jiménez, V.M. 2011. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International* 46(2012): 488 – 495.
- Gordillo, F.; Chávez, E. 2010. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros (En línea). ESPOL. Consultado 05 jun. 2016. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/13534>
- Haug, R.T. 1993. The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Iglesias J., E. 1991. Estudio del compostaje termófilo y aerobio de los residuos sólidos urbanos de Tenerife Poder fertilizante del compost y dinámica de los nutrientes aportados en un sistema suelo-planta. Tesis PhD. Barcelona, Secr. Public. Int. Cient. Univ. La Laguna. ETD. S. A. 514 pp. (ISBN: 84-7756-269-5).
- Iglesias J., E.; Pérez G., V. 1992. Composting of domestic refuse and sewage sludge. II. Evolution of carbon and some “humification” indexes. *Resources, Conservation and Recycling* 6: 243-257.

- Janampa, N.; Quiñones, A.; Suárez S., L.; Chalco, Y. 2014. Variación de sustancias húmicas de abonos orgánicos en cultivos de papa y maíz. *Ciencia del Suelo* 32 (1): 139-147.
- Jones, J.B.J. 1991. Kjeldahl method for nitrogen determination. Athens, Ga: Micro-Macro Publishing Inc.
- Kausar, H.; Razi I., M.; Mohd S., H.; Othman, R.; Habib, S. 2013. Use of lignocellulolytic microbial consortium and pH amendment on composting efficacy of rice straw. *Compost Science & Utilization*, 21: 121-133.
- Kononova, M.M. 1966. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility, 2nd ed.; Pergamon Press: Oxford.U.K.
- Leal, L.H. 1981. Principios de composteo. Fermentación al aire libre de materia orgánica. P. 95 – 99, en Monroz H., Oscar y Viniega G., Gustavo (eds.) Biotecnología para el aprovechamiento de los Desperdicios orgánicos. A.G.T. Editor. México.
- Lopez W., W. 2010. Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. Tesis Mg. Biotecnología aplicada. Tlaxcala, MX. IPN. 146 p.
- Martin, O.; Dewes, T. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresource Technology* 42, 103–111.
- Minitab 17 Statistical Software (2010). [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com).
- Mirabelli, E. 2008. El compostaje proyectado a la lombricultura. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 330 p.
- Miyashiro N., I. 2014. Calidad de seis formulaciones de compost enriquecidos con guano de islas. Tesis Ing. Amb. Lima, PE. UNALM. 148 p.
- Mohedo G., J.J. 2002. Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales. Tesis Dr. Córdoba, ES. UCO. 183 p.
- Monroig I., M.F. 2005. Morfología del cafeto (En línea). Ecos del café. Consultado 01 jun. 2016. Disponible en <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>
- Moreno C., J.; Moral H., R. (eds.). 2008. Compostaje. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 570 p.

- Mumpton, F.A. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolites in agricultural and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 96(7): 3463-3470.
- Murthy, P.S.; Naidu, M.M. 2012. Recovery of phenolic Antioxidants and Functional Compounds from Coffee Industry By-products. *Food Bioprocess Technology* 5(3): 897 – 903.
- Mussatto, S.; Machado, E.; Martins, S.; Texeira, J. 2011. Production, composition and application of coffee and its industrial residues. *Food Bioprocess Technology* 4(5): 661 – 672.
- Nakasaki, K.; Nag, K.; Karita, S. 2005. Microbial succession associated with organic matter decomposition during thermophilic composting of organic waste. *Waste Management Research* 23 (1):48-56.
- Negro, M.J.; Villa, F.; Aibar, J.; Alarcón, R.; Círia, P.; Cristóbal, M.V.; De Benito, A.; García M., A.; García M., G.; Labrador, C.; Lacasta, C.; Lezaún, J.A.; Meco, R.; Pardo, G.; Solano, M.L.; Torner, C.; Zaragoza, C. 2000. Producción y gestión del compost (En línea). Consultado 05 jun. 2016. Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>
- Pandey, A; Soccol, C; Nigam, P; Brand, D; Mohan, R; Roussos, S. 2000. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal.*, 6: 153-162.
- Peña T., E.; Carrión R., M.; Martínez, F.; Rodríguez N., A.; Compnioni C, N. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. INIFAT
- Ramírez, F.D. 2011. Cultivo del café. Grupo Latino Editores S.A.S. 511 p.
- Roa, M.G.; Oliveros, T.C.E.; Álvarez, G.J.; Ramírez, G.C.A.; Sanz, U.J.R.; Dávila, A.M.T.; Álvarez, H.J.R.; Zambrano, F.D.A.; Puerta, Q.G.I.; Rodríguez, V.N. 1999. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé. 273 p.
- Rolz, C.; De León, R.; De Arriola, M.C. 1988. Biological pretreatment of coffee pulp. *Biological Wastes* 26(2): 97-114.
- Rolz, C.; Menchú, J.F.; De Arriola, M.C.; De Micheo, F. 1980. Pressing of coffee pulp. *Agricultural Wastes* 2: 207-214.
- Román, P.; Martínez, M.M.; Pantoja, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina. FAO. Chile

- Sánchez, G.; Olgúin, E.J.; Mercado, G. 1999. Accelerated coffee pulp composting. *Biodegradation* 10: 35-41.
- Sánchez-Monedero, M.A.; Paredes, C.; Bernal, M.P. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effect on pH, EC, and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology* 78(3): 301-308.
- Silva, J.P.; López M., P.; Valencia A., P. s.f. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje (En línea). EIDENAR/ Univalle. Cali, CO. Consultado 11 jun. 2016. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/266525614_RECUPERACION_DE_NUTRIENTES_EN_FASE_SOLIDA_A_TRAVES_DEL_COMPOSTAJE
- Soliva, M.; López, M. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso (En línea). Barcelona, ESAB. Consultado 05 jun. 2016. Disponible en http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articles_ESAB/Calidad%20compost%20lodos.pdf
- Srikantha, H.; Shiju, E.J. 2013. Coffee pulp waste management by different composting techniques. *Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research* 3(3): 96-103.
- Sztern, D.; Pravia, M.A. 1995. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos (En línea). Consultado 28 oct. 2016. Disponible en <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>
- Sztern, D.; Pravia, M.A. 1999. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. OPS/HEP/HES/URU/02.99.69p.
- Thivierge, C.; Seito, M. 2005. Nuevas tecnologías de vivero en Nicaragua, bandejas y sustratos mejorados-compost. Primera edición. Managua, Nicaragua. pp 23-43.
- Turan, N.G.; Ergun, O.N. 2007. Ammonia uptake by natural zeolite in municipal solid waste compost. *Environmental Progress* 26(2): 149-156.
- Ulloa T., J.B.; Verreth, J.A.J.; Amato, S.; Huisman, E.A. 2003. Biological treatments affect the chemical composition of coffee pulp. *Bioresource Technology* 89: 267-274.
- Umaña F., G. 2014. Guía para el establecimiento de módulos para microbeneficiado de café. San José, CR. MAG/ SUNII/ FITTACORI. p. 102. Fuente original: Elías, LG. 1978. Composición química de la pulpa del café y otros subproductos. INCAP.

- Uribe-Henao, A.; Salazar-Arias, N. 1983. Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto. *CENICAFE Col.* 34(2): 44-58.
- Varnero, M.M.T.; Rojas, A.C.; Orellana, R.R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 7(1): 28-37. Fuente original: Instituto Nacional de Normalización (INN). 2004. Norma Chilena de Compost 2880-2004 (NCh 2880-2004), Compost – Clasificación y Requisitos, 23pp.
- Varnero, M.M.T.; Rojas, A.C.; Orellana, R.R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la Ciencia del Suelo Nutrición Vegetal* 7(1): 28-37. Fuente original: Zucconi, F.; Monaco, A.; Forte, M. De Bertoli, M. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter.
- Vásquez de Díaz, M.C.; López, A.; Fuentes, B.; Cote, E. 2010. Aceleración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas* 41: 1-7.
- Witter, E.; Lopez-Real, J.M. 1988. Nitrogen losses during the composting of sewage sludge and the effectiveness of clay soil, zeolite, and compost in adsorbing the volatilized ammonia. *Biological Wastes* 23(4): 279-294.
- Zasoski, R.J.; Burau, R.G. 1977. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for multi-element tissue analysis. *Communications in soil science and plant analysis* 8: 425-436.
- Zucconi, F.; Pera, A.; Forte, M.; De Bertoli, M. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle* 22: 54-57.

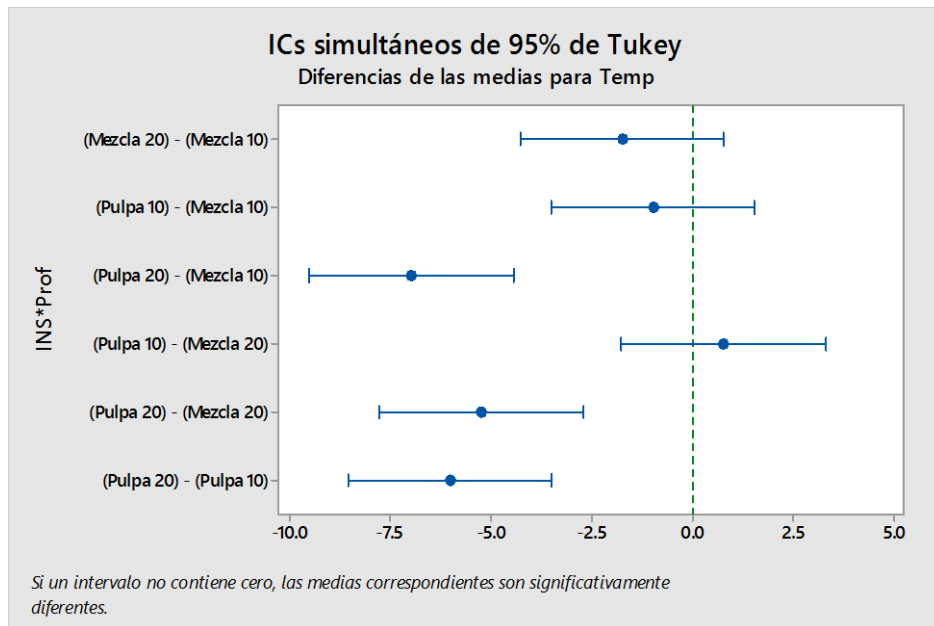
VIII. ANEXOS

Anexo 1: Efecto de la aplicación de dos enmiendas minerales en el compostaje de dos preparaciones de pulpa de café sobre la densidad aparente, contenido de humedad y la conductividad eléctrica de los compost cosechados en diferentes días después de la instalación.

Tratamiento	Conductividad eléctrica (dS/m)		
	Día 0	Día 78	Día 130
Enmienda mineral			
Ninguna	14.3 a	13.8 ab	20.9 a
Zeolita	13.0 b	12.6 b	17.8 c
Arcilla	13.0 c	15.2 a	19.5 b
Insumo orgánico			
Pulpa	13.1 b	12.4 b	17.3 b
Mezcla	13.7 a	15.3 a	21.5 a
Enmienda	*	*	*
Insumo	*	*	*
Enmienda × Insumo	*	n.s.	n.s
C.V. (%)	5.16	17.67	13.43

Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$), según la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

Anexo 2: Análisis estadístico de temperatura durante el compostaje

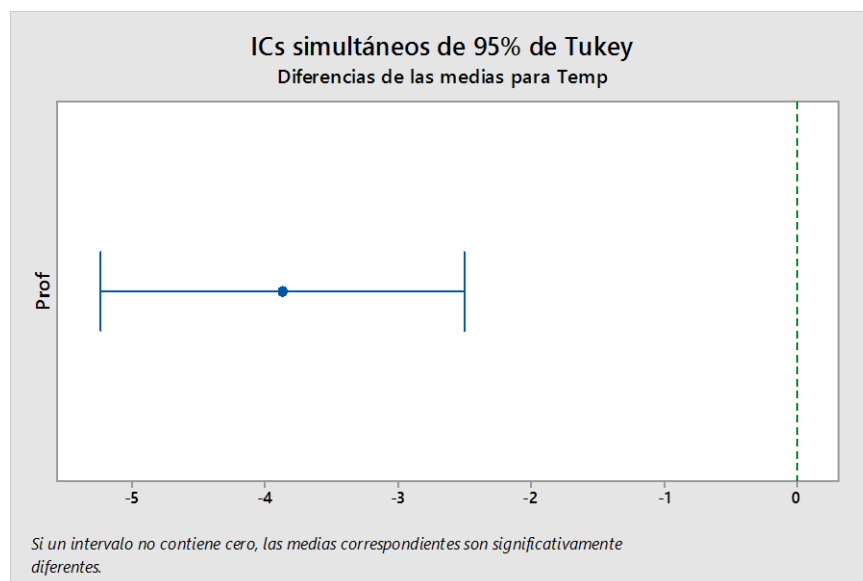


Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Temp, Término = INS*Prof

INS*Prof	N	Media	Agrupación
Mezcla 10	132	37.6417	A
Pulpa 10	132	36.6780	A
Mezcla 20	131	35.9031	A
Pulpa 20	132	30.6742	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %



Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Temp, Término = Prof

Prof	N	Media	Agrupación
10	264	37.1598	A
20	263	33.2886	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 3: Análisis estadístico de densidad aparente durante el compostaje

a) ANVA y Tukey para densidad de todos los tratamientos en el tiempo

Modelo lineal general: CM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	37081.7	18540.8	168.63	0.000
Error	9	989.5	109.9		
Total	11	38071.2			

Modelo lineal general: CP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	34307.5	17153.8	496.21	0.000
Error	9	311.1	34.6		
Total	11	34618.6			

Modelo lineal general: ZM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	58978	29488.9	121.95	0.000
Error	9	2176	241.8		
Total	11	61154			

Modelo lineal general: ZP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	42096	21048.2	151.06	0.000
Error	9	1254	139.3		
Total	11	43350			

Modelo lineal general: ArM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

Día	2	43113	21556.4	24.47	0.000
Error	9	7929	881.1		
Total	11	51042			

Modelo lineal general: ArP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	64708	32354.0	68.91	0.000
Error	9	4226	469.5		
Total	11	68934			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
117	4	257.491	A
68	4	188.161	B
0	4	121.334	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
117	4	273.369	A
68	4	173.241	B
0	4	150.187	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
117	4	303.763	A
68	4	243.496	B
0	4	134.372	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
117	4	307.563	A
68	4	218.720	B
0	4	163.812	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
117	4	280.384	A
68	4	224.242	A
0	4	134.825	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
117	4	334.768	A

68	4	205.368	B
0	4	161.869	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

b) ANVA y Tukey para densidad aparente entre tratamientos

Modelo lineal general: Día 0 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	4854.96	4854.96	2518.24	0.000
Enm	2	897.83	448.92	232.85	0.000
Ins*Enm	2	6.24	3.12	1.62	0.226
Error	18	34.70	1.93		
Total	23	5793.73			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	158.623	A
Mezcla	12	130.177	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Zeo	8	149.092	A
Ar	8	148.347	A
Control	8	135.761	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Pulpa Zeo	4	163.812	A
Pulpa Ar	4	161.869	A
Pulpa Control	4	150.187	B
Mezcla Ar	4	134.825	C
Mezcla Zeo	4	134.372	C
Mezcla Control	4	121.334	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: Día 68 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	2287.1	2287.09	7.26	0.015

Enm	2	10585.9	5292.95	16.80	0.000
Ins*Enm	2	98.4	49.20	0.16	0.857
Error	18	5672.0	315.11		
Total	23	18643.4			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 68, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	218.633	A
Pulpa	12	199.109	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 68, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Zeo	8	231.108	A
Ar	8	214.805	A
Control	8	180.701	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 68, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Mezcla Zeo	4	243.496	A
Mezcla Ar	4	224.242	A B
Pulpa Zeo	4	218.720	A B
Pulpa Ar	4	205.368	A B C
Mezcla Control	4	188.161	B C
Pulpa Control	4	173.241	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: Día 117 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	3657	3656.8	5.89	0.026
Enm	2	9063	4531.5	7.30	0.005
Ins*Enm	2	2792	1395.8	2.25	0.134
Error	18	11180	621.1		
Total	23	26691			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 117, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	305.233	A
Mezcla	12	280.546	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 117, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación

Ar	8	307.576	A
Zeo	8	305.663	A
Control	8	265.430	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 4: Análisis estadístico del porcentaje de humedad durante el compostaje

a) ANVA y TUKEY para el porcentaje de Humedad entre tratamientos

Modelo lineal general: %Hd vs. Enm, Ins Día= 0

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Enm	2	0.000	0.000	*	*
Ins	1	352.135	352.135	*	*
Enm*Ins	2	0.000	0.000	*	*
Error	18	0.000	0.000		
Total	23	352.135			

Modelo lineal general: %Hd vs. Insumo, Enmienda, Día=43

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Insumo	1	371.47	371.469	73.12	0.000
Enmienda	2	46.20	23.099	4.55	0.025
Insumo*Enmienda	2	19.50	9.749	1.92	0.176
Error	18	91.44	5.080		
Total	23	528.61			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día=43, Término = Insumo

Insumo	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	74.8120	A
Mezcla	12	66.9436	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día=43, Término = Enmienda

Enmienda	N	Media	Agrupación
Control	8	72.8341	A
Ar	8	70.0290	A B
Zeo	8	69.7702	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: %Hd vs. Insumo, Enmienda, Día=67

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Insumo	1	490.683	490.683	110.30	0.000
Enmienda	2	70.776	35.388	7.95	0.003
Insumo*Enmienda	2	1.265	0.633	0.14	0.868
Error	18	80.074	4.449		
Total	23	642.799			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día=67, Término = Insumo

Insumo	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	65.5005	A
Mezcla	12	56.4573	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día=67, Término = Enmienda

Enmienda	N	Media	Agrupación
Control	8	63.2828	A
Ar	8	60.4921	B
Zeo	8	59.1617	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: %Hd vs. Ins, Enm, Día=130

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	34.98	34.983	2.79	0.112
Enm	2	94.58	47.290	3.77	0.043
Ins*Enm	2	12.46	6.232	0.50	0.617
Error	18	226.03	12.557		
Total	23	368.06			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	50.4289	A
Pulpa	12	48.0142	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	50.8286	A
Zeolita	8	50.4116	A
Arcilla	8	46.4245	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 5: Análisis estadístico de la conductividad eléctrica durante el compostaje

a) ANVA y TUKEY para CE en el tiempo

Modelo lineal general: CM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	193.70	96.850	29.96	0.000
Error	9	29.10	3.233		
Total	11	222.80			

Modelo lineal general: CP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	73.874	36.9372	96.92	0.000
Error	9	3.430	0.3811		
Total	11	77.304			

Modelo lineal general: ZM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	91.51	45.756	29.55	0.000
Error	9	13.94	1.549		
Total	11	105.45			

Modelo lineal general: ZP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	53.647	26.8235	56.80	0.000
Error	9	4.250	0.4722		
Total	11	57.897			

Modelo lineal general: ArM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	2	154.558	77.2788	146.12	0.000
Error	9	4.760	0.5289		
Total	11	159.318			

Modelo lineal general: ArP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

Día	2	47.985	23.9925	138.64	0.000
Error	9	1.558	0.1731		
Total	11	49.543			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	22.975	A
0	4	14.670	B
78	4	14.250	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	18.80	A
0	4	13.88	B
78	4	13.25	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	19.575	A
78	4	14.250	B
0	4	13.300	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	16.1000	A
0	4	12.7800	B
78	4	10.9975	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	22.00	A
78	4	17.50	B
0	4	13.21	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	17.050	A
78	4	12.925	B
0	4	12.700	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

b) ANOVA y Tukey para diferencia de CE entre tratamientos

Modelo lineal general: Día 0 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	2.2083	2.20827	*	*
Enm	2	8.7329	4.36647	*	*
Ins*Enm	2	0.1009	0.05047	*	*
Error	18	0.0000	0.00000		
Total	23	11.0421			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	13.7267	A
Pulpa	12	13.1200	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	14.275	A
Zeo	8	13.040	B
Ar	8	12.955	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Mezcla Control	4	14.67	A
Pulpa Control	4	13.88	B
Mezcla Zeo	4	13.30	C
Mezcla Ar	4	13.21	D
Pulpa Zeo	4	12.78	E
Pulpa Ar	4	12.70	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: Día 78 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	51.95	51.950	20.35	0.000
Enm	2	26.96	13.479	5.28	0.016
Ins*Enm	2	13.07	6.534	2.56	0.105
Error	18	45.95	2.553		
Total	23	137.92			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 78, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	15.3333	A
Pulpa	12	12.3908	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 78, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Ar	8	15.2125	A
Control	8	13.7500	A B
Zeo	8	12.6237	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 78, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Mezcla Ar	4	17.5000	A
Mezcla Control	4	14.2500	A B
Mezcla Zeo	4	14.2500	A B
Pulpa Control	4	13.2500	B
Pulpa Ar	4	12.9250	B
Pulpa Zeo	4	10.9975	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: Día 130 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	105.840	105.840	171.86	0.000
Enm	2	37.351	18.675	30.33	0.000
Ins*Enm	2	2.178	1.089	1.77	0.199
Error	18	11.085	0.616		
Total	23	156.453			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Mezcla Control	4	22.975	A
Mezcla Ar	4	22.000	A
Mezcla Zeo	4	19.575	B
Pulpa Control	4	18.800	B C
Pulpa Ar	4	17.050	C D
Pulpa Zeo	4	16.100	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 6: Análisis estadístico de pH durante el compostaje

a) ANVA y Tukey para diferencia en el tiempo de pH

Modelo lineal general: CM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	2835.2	945.08	50.93	0.000
Error	12	222.7	18.56		
Total	15	3057.9			

Modelo lineal general: CP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	4307.2	1435.75	90.13	0.000
Error	12	191.2	15.93		
Total	15	4498.4			

Modelo lineal general: ZM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	2772.90	924.300	157.31	0.000
Error	12	70.51	5.876		
Total	15	2843.41			

Modelo lineal general: ZP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	4193.3	1397.78	73.89	0.000
Error	12	227.0	18.92		
Total	15	4420.4			

Modelo lineal general: ArM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	3763.92	1254.64	533.80	0.000
Error	12	28.20	2.35		
Total	15	3792.12			

Modelo lineal general: ArP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

Día	3	4475.1	1491.69	149.54	0.000
Error	12	119.7	9.98		
Total	15	4594.8			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	9.605	A
78	4	9.165	B
0	4	5.820	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	10.365	A
78	4	9.690	B
0	4	4.910	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	9.4725	A
78	4	8.9800	B
0	4	6.2000	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	10.2325	A
78	4	9.5700	B
0	4	5.3100	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	9.605	A
78	4	9.140	B
0	4	5.690	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	10.3200	A
78	4	9.6025	B
0	4	4.8700	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

b) ANOVA Y Tukey para comparación de pH entre tratamientos

Modelo lineal general: Día 0 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	4.57627	4.57627	*	*
Enm	2	1.02653	0.51327	*	*
Ins*Enm	2	0.00893	0.00447	*	*
Error	18	0.00000	0.00000		
Total	23	5.61173			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	5.90333	A
Pulpa	12	5.03000	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Zeo	8	5.755	A
Control	8	5.365	B
Ar	8	5.280	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 0, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Mezcla Zeo	4	6.20	A
Mezcla Control	4	5.82	B
Mezcla Ar	4	5.69	C
Pulpa Zeo	4	5.31	D
Pulpa Control	4	4.91	E
Pulpa Ar	4	4.87	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: Día 78 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	1.65900	1.65900	53.60	0.000
Enm	2	0.09516	0.04758	1.54	0.242
Ins*Enm	2	0.01626	0.00813	0.26	0.772
Error	18	0.55717	0.03095		
Total	23	2.32760			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 78, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	9.62083	A
Mezcla	12	9.09500	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 78, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	9.42750	A
Ar	8	9.37125	A
Zeo	8	9.27500	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 78, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Pulpa Control	4	9.6900	A
Pulpa Ar	4	9.6025	A
Pulpa Zeo	4	9.5700	A
Mezcla Control	4	9.1650	B
Mezcla Ar	4	9.1400	B
Mezcla Zeo	4	8.9800	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: Día 130 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	3.33015	3.33015	342.04	0.000
Enm	2	0.08043	0.04022	4.13	0.033
Ins*Enm	2	0.00270	0.00135	0.14	0.871
Error	18	0.17525	0.00974		
Total	23	3.58853			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	10.3058	A
Mezcla	12	9.5608	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	9.9850	A
Ar	8	9.9625	A B
Zeo	8	9.8525	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Pulpa Control	4	10.3650	A
Pulpa Ar	4	10.3200	A
Pulpa Zeo	4	10.2325	A
Mezcla Ar	4	9.6050	B
Mezcla Control	4	9.6050	B
Mezcla Zeo	4	9.4725	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

c) ANVA y Tukey para variación de pH del día 0 al 130 entre los tratamientos

Modelo lineal general: DIF pH vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	15.7140	15.7140	1613.99	0.000
Enm	2	1.6510	0.8255	84.79	0.000
Ins*Enm	2	0.0212	0.0106	1.09	0.357
Error	18	0.1752	0.0097		
Total	23	17.5615			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = DIF pH, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	5.27583	A
Mezcla	12	3.65750	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = DIF pH, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Ar	8	4.6825	A
Control	8	4.6200	A
Zeo	8	4.0975	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = DIF pH, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Pulpa Control	4	5.4550	A
Pulpa Ar	4	5.4500	A
Pulpa Zeo	4	4.9225	B
Mezcla Ar	4	3.9150	C
Mezcla Control	4	3.7850	C
Mezcla Zeo	4	3.2725	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 7: Análisis estadístico del contenido de nitrógeno durante el compostaje

a) ANVA y Tukey para diferencia de N % entre días

Modelo lineal general: CM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.000167	0.000056	24.92	0.000
Error	12	0.000027	0.000002		
Total	15	0.000194			

Modelo lineal general: CP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.000397	0.000132	27.64	0.000
Error	12	0.000057	0.000005		
Total	15	0.000454			

Modelo lineal general: ZM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.000152	0.000051	38.60	0.000
Error	12	0.000016	0.000001		
Total	15	0.000168			

Modelo lineal general: ZP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.000350	0.000117	22.64	0.000
Error	12	0.000062	0.000005		
Total	15	0.000412			

Modelo lineal general: ArM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.000087	0.000029	32.59	0.000
Error	12	0.000011	0.000001		
Total	15	0.000097			

Modelo lineal general: ArP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

Día	3	0.000182	0.000061	71.32	0.000
Error	12	0.000010	0.000001		
Total	15	0.000192			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
68	4	0.0244750	A
130	4	0.0232500	A
48	4	0.0219750	A
0	4	0.0160576	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
68	4	0.0282250	A
48	4	0.0262750	A
130	4	0.0252750	A
0	4	0.0153549	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
68	4	0.0222250	A
130	4	0.0217750	A
48	4	0.0190750	B
0	4	0.0144611	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	0.0264500	A
68	4	0.0242250	A
48	4	0.0217000	A
0	4	0.0140492	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
130	4	0.0204750	A
68	4	0.0196750	A
48	4	0.0188500	A
0	4	0.0144611	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
68	4	0.0226500	A
130	4	0.0219000	A
48	4	0.0198250	B
0	4	0.0140492	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

b) ANVA y Tukey para diferencia de % N entre tratamientos

Modelo lineal general: Día 0 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	0.000002	0.000002	*	*
Enm	2	0.000011	0.000006	*	*
Ins*Enm	2	0.000000	0.000000	*	*
Error	18	0.000000	0.000000		
Total	23	0.000013			

Modelo lineal general: Día 48 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	0.000042	0.000042	25.97	0.000
Enm	2	0.000101	0.000051	31.62	0.000
Ins*Enm	2	0.000011	0.000006	3.45	0.054
Error	18	0.000029	0.000002		
Total	23	0.000183			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 48, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	0.0226000	A
Mezcla	12	0.0199667	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 48, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	0.0241250	A
Zeo	8	0.0203875	B
Ar	8	0.0193375	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: Día 68 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	0.000051	0.000051	29.58	0.000
Enm	2	0.000109	0.000055	31.80	0.000

Ins*Enm	2	0.000003	0.000002	0.90	0.426
Error	18	0.000031	0.000002		
Total	23	0.000194			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 68, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	0.0250333	A
Mezcla	12	0.0221250	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 68, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	0.0263500	A
Zeo	8	0.0232250	B
Ar	8	0.0211625	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Modelo lineal general: Día 130 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	0.000044	0.000044	6.44	0.021
Enm	2	0.000048	0.000024	3.52	0.051
Ins*Enm	2	0.000012	0.000006	0.88	0.433
Error	18	0.000123	0.000007		
Total	23	0.000227			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	0.0245417	A
Mezcla	12	0.0218333	B

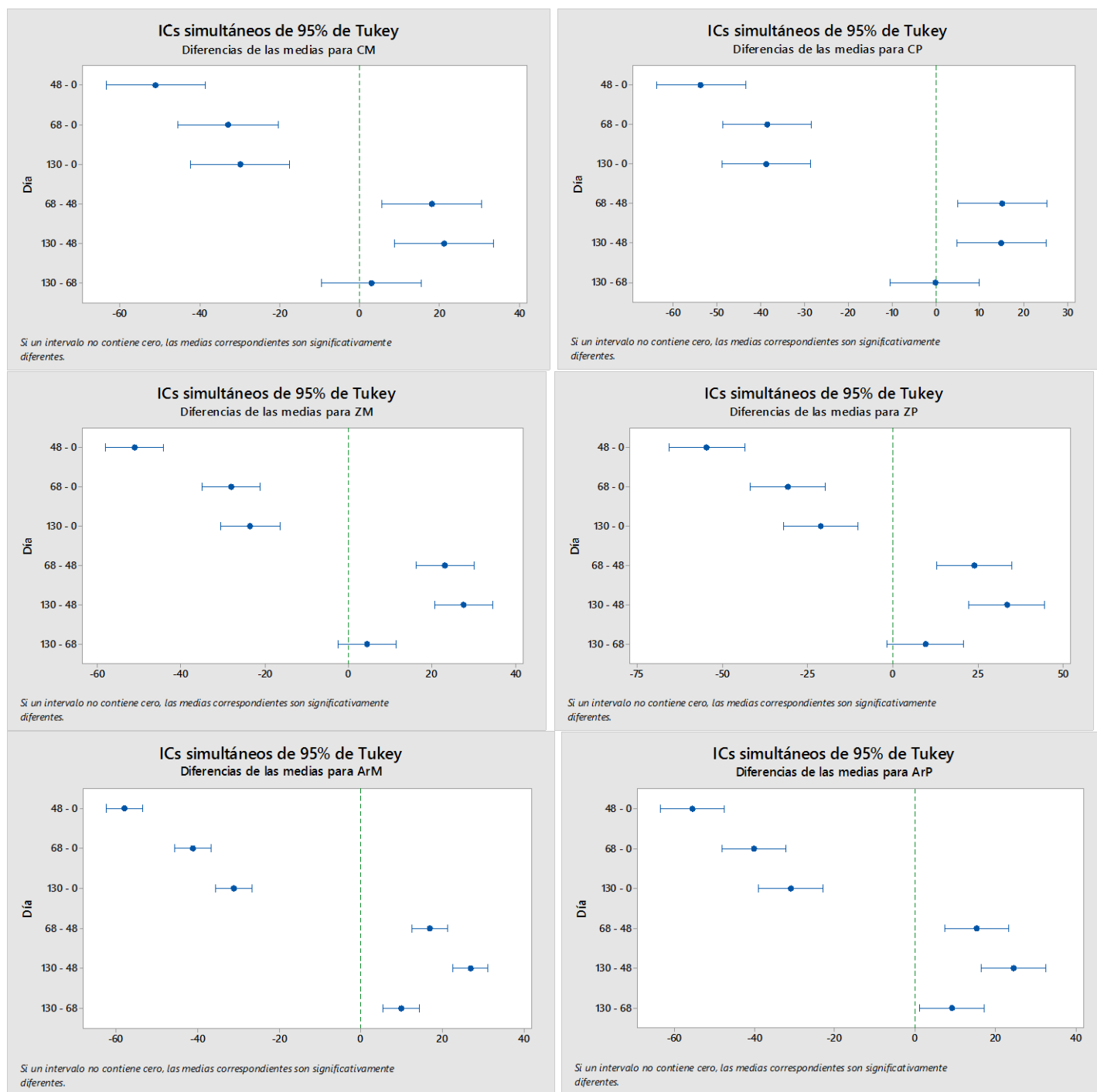
Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	0.0242625	A
Zeo	8	0.0241125	A
Ar	8	0.0211875	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

c) TUKEY para el %N recuperado entre días



d) ANVA y TUKEY para el %N recuperado total entre tratamientos

Modelo lineal general: %N recuperado vs. Enm, Ins

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Enm	2	616.35	308.18	7.42	0.004
Ins	1	27.31	27.31	0.66	0.428

Enm*Ins	2	137.80	68.90	1.66	0.218
Error	18	747.83	41.55		
Total	23	1529.30			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = %N recuperado, Término =

Enm*Ins

Enm*Ins	N	Media	Agrupación
Zeolita Pulpa	4	78.8163	A
Zeolita Mezcla	4	76.5684	A
Control Mezcla	4	70.0878	A B
Arcilla Pulpa	4	69.0344	A B
Arcilla Mezcla	4	68.8810	A B
Control Pulpa	4	61.2855	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 8: Análisis estadístico del contenido de carbono durante el compostaje

a) ANVA y Tukey para diferencia de C % en el tiempo

Modelo lineal general: CM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.025534	0.008511	97.40	0.000
Error	12	0.001049	0.000087		
Total	15	0.026582			

Modelo lineal general: CP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.015655	0.005218	6.65	0.007
Error	12	0.009412	0.000784		
Total	15	0.025067			

Modelo lineal general: ZM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.021220	0.007073	47.42	0.000
Error	12	0.001790	0.000149		
Total	15	0.023010			

Modelo lineal general: ZP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.020835	0.006945	36.15	0.000
Error	12	0.002306	0.000192		
Total	15	0.023141			

Modelo lineal general: ArM vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.029403	0.009801	66.33	0.000
Error	12	0.001773	0.000148		
Total	15	0.031176			

Modelo lineal general: ArP vs. Día

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	3	0.025193	0.008398	147.95	0.000
Error	12	0.000681	0.000057		
Total	15	0.025874			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
0	4	0.427007	A
48	4	0.346525	B
68	4	0.345700	B
130	4	0.321175	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
0	4	0.438112	A
48	4	0.422775	A
68	4	0.413775	A B
130	4	0.355500	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
0	4	0.384552	A
48	4	0.312875	B
68	4	0.303750	B
130	4	0.290700	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ZP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
0	4	0.400858	A
48	4	0.357575	B

68	4	0.334875	B
130	4	0.301600	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArM, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
0	4	0.384552	A
48	4	0.296700	B
68	4	0.290500	B
130	4	0.274700	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = ArP, Término = Día

Día	N	Media	Agrupación
0	4	0.400858	A
68	4	0.334475	B
48	4	0.308650	C
130	4	0.299375	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

b) ANVA y Tukey para diferencia de C % entre tratamientos

Modelo lineal general: C % vs. Enm, Ins

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	0.003257	0.003257	4.64	0.045
Enm	2	0.011985	0.005993	8.54	0.002
Ins*Enm	2	0.000554	0.000277	0.40	0.679
Error	18	0.012627	0.000701		
Total	23	0.028424			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Pulpa	12	0.318825	A
Mezcla	12	0.295525	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	0.338338	A
Zeo	8	0.296150	B
Ar	8	0.287038	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

c) ANVA y Tukey para comparación del % "C" recuperado total entre tratamientos

Modelo lineal general: % "C" Recuperado vs. Enm, Ins

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Enm	2	10.95	5.473	0.51	0.610
Ins	1	142.85	142.851	13.24	0.002
Enm*Ins	2	31.93	15.967	1.48	0.254
Error	18	194.18	10.788		
Total	23	379.92			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = % "C" Recuperado, Término =

Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Zeolita	8	35.0540	A
Arcilla	8	33.9288	A
Control	8	33.4412	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = % "C" Recuperado, Término =

Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	36.5810	A
Pulpa	12	31.7016	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = % "C" Recuperado, Término =

Enm*Ins

Enm*Ins	N	Media	Agrupación
Zeolita Mezcla	4	38.4496	A
Control Mezcla	4	36.5478	A B
Arcilla Mezcla	4	34.7457	A B
Arcilla Pulpa	4	33.1119	A B
Zeolita Pulpa	4	31.6583	A B
Control Pulpa	4	30.3347	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 9: Análisis estadístico de la relación C/N durante el compostaje

a) ANVA y Tukey de comparación de la relación C/N entre tratamientos para el día 130

Modelo lineal general: Día 130 vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	0.7416	0.7416	0.18	0.675
Enm	2	11.6605	5.8303	1.42	0.267
Ins*Enm	2	5.3964	2.6982	0.66	0.529
Error	18	73.7076	4.0949		
Total	23	91.5061			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	13.5991	A
Pulpa	12	13.2475	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	14.2057	A
Ar	8	13.5513	A
Zeo	8	12.5128	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Día 130, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Pulpa Control	4	14.3969	A
Mezcla Control	4	14.0145	A
Pulpa Ar	4	13.6781	A
Mezcla Ar	4	13.4245	A
Mezcla Zeo	4	13.3581	A
Pulpa Zeo	4	11.6675	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 10: Análisis estadístico de la relación AH/AF durante el compostaje

a) ANVA y Tukey para AH/AF

Modelo lineal general: AH/AF vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	0.13758	0.137576	1.82	0.194

Enm	2	0.38135	0.190675	2.53	0.108
Ins*Enm	2	0.00261	0.001303	0.02	0.983
Error	18	1.35757	0.075421		
Total	23	1.87910			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = AH/AF, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	1.40357	A
Pulpa	12	1.25215	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = AH/AF, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Control	8	1.47537	A
Zeo	8	1.34079	A
Ar	8	1.16742	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = AH/AF, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Mezcla Control	4	1.53705	A
Mezcla Zeo	4	1.42740	A
Pulpa Control	4	1.41370	A
Pulpa Zeo	4	1.25417	A
Mezcla Ar	4	1.24626	A
Pulpa Ar	4	1.08858	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

Anexo 11: Análisis estadístico del índice de germinación durante el compostaje

a) ANVA y Tukey para comparación del Índice de germinación entre tratamientos

Modelo lineal general: % IG vs. Ins, Enm

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ins	1	320.9	320.9	1.10	0.308
Enm	2	1477.4	738.7	2.53	0.107
Ins*Enm	2	429.2	214.6	0.74	0.493
Error	18	5245.8	291.4		
Total	23	7473.3			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = % IG, Término = Ins

Ins	N	Media	Agrupación
Mezcla	12	89.2686	A
Pulpa	12	81.9548	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = % IG, Término = Enm

Enm	N	Media	Agrupación
Zeo	8	96.5902	A
Control	8	81.5153	A
Ar	8	78.7297	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = % IG, Término = Ins*Enm

Ins*Enm	N	Media	Agrupación
Mezcla Zeo	4	96.8789	A
Pulpa Zeo	4	96.3015	A
Mezcla Control	4	91.1361	A
Mezcla Ar	4	79.7909	A
Pulpa Ar	4	77.6685	A
Pulpa Control	4	71.8945	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %